le Scienze

Marzo 2019
euro 4,90

edizione italiana di Scientific American

Disarmo nucleare

Riciclare il materiale fissile delle testate per alimentare le centrali nucleari potrebbe incentivare la dismissione degli arsenali atomici

Paleoantropologia
Frammenti d'osso rivelano gli incroci dei nostri antenati

Fisica
Strumenti matematici per scoprire nuove particelle

Evoluzione culturale
La trasmissione delle fiabe nelle migrazioni umane

in copertina

Sommario

Centrali nucleari che producono elettricità potrebbero usare combustibile ricavato dagli arsenali nucleari in via di smantellamento (*Brendan Smialowski/AFP/Getty Images*)

marzo 2019 numero 607

66

Turenscape

NUCLEARE

30 Testate da riciclare

di Flavio Parozzi e Franco Polidoro

Le bombe atomiche custodite negli arsenali di vari paesi potrebbero essere dismesse in modo da fornire combustibile per centrali nucleari che producono elettricità

MATEMATICA

38 Il codice delle particelle

di Matthew von Hippel

Gli scienziati stanno mettendo a punto concetti matematici per identificare nuove particelle e nuovi fenomeni nel più grande acceleratore del mondo

PALEOANTROPOLOGIA

44 L'ago nel pagliaio

di Thomas Higham e Katerina Douka

Una nuova tecnica con cui identificare minuscoli frammenti di osso fossilizzati aiuta a rispondere a domande chiave su quando, dove e come hanno interagito fra loro le diverse specie umane

NEUROSCIENZE

52 La mente e il pasto

di Bret Stetka

Gli interventi chirurgici per perdere peso rimodellano le connessioni tra intestino e cervello?

EVOLUZIONE CULTURALE

58 Una fiaba delle fiabe

di Eugenio Bortolini e Luca Pagani

La diffusione di racconti tra gruppi umani e la genetica di popolazioni forniscono indizi sulle modalità di trasmissione culturale e sulle migrazioni

SOSTENIBILITÀ

66 Città spugna

di Erica Gies

Ristabilire nelle città i flussi naturali dell'acqua può ridurre l'impatto di siccità e inondazioni

MEDICINA

72 Migliorare l'accesso ai trial

di David H. Freedman

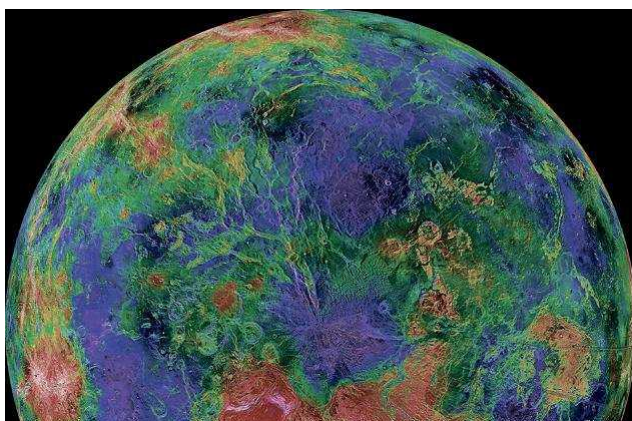
Per molti pazienti colpiti da tumore la possibilità di accedere a terapie sperimentali salvavita negli ospedali più piccoli è spesso preclusa

CONSERVAZIONE

78 Boschi sacri

di Madhav Gadgil

Gli abitanti di alcuni villaggi indiani stanno ridando vita a un'antica tradizione per godere dei benefici ambientali che porta con sé

14

19

91

7 Editoriale
di Marco Cattaneo

8 Lettera

10 In edicola

12 Intervista
Affrontare le sfide attuali con la testa di un fisico
di Giovanni Sabato

14 Made in Italy
Una soluzione innovativa per l'adeguamento sismico
di Letizia Gabaglio

16 Il matematico impertinente
Una donna contro Fermat *di Piergiorgio Odifreddi*

17 Scienza e filosofia
Le vie del progresso scientifico *di Elena Castellani*

18 Homo sapiens
L'antenato fantasma *di Giorgio Manzi*

19 La finestra di Keplero
Quando non andammo su Venere *di Amedeo Balbi*

88 C oordinate
Non è mezzogiorno *di Nadieh Bremer*

89 Povera scienza
Aria viziata planetaria *di Paolo Attivissimo*

90 La ceretta di Occam
Far chiarezza sui siliconi *di Beatrice Mautino*

91 Pentole & provette
Una spugna in padella *di Dario Bressanini*

92 Rudi matematici
Tre per due uguale tre
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

94 Libri & tempo libero

SCIENZA NEWS

20 Le dieci minacce alla salute globale
22 In diretta dal centro della galassia
22 Nuovo passo verso i superconduttori a temperatura ambiente
24 Il gene drive arriva nei mammiferi
24 Gufi o allodole? Scoperti centinaia di nuovi geni coinvolti nel cronotipo
26 Una siccità da cui fuggire
26 La deriva climatica italiana
27 L'origine evolutiva unica dei neuroni
27 Sinapsi artificiali grazie ai memristori
28 Brevissime

Zhekos/iStock (*melanzana*); NASA/JPL/USGS (*Venere*); Antonio Masiello/AGF (*campanile*)

di Marco Cattaneo

Editoriale

Una nuova anomalia da disinnescare

Oggi come nella guerra fredda è necessario agire per contrastare la minaccia delle armi nucleari

Due minuti alla mezzanotte. Anche nel 2018, come un anno prima, il Doomsday Clock, l'orologio dell'Apocalisse, è fermo a un passo dalla catastrofe. Il «Bulletin of the Atomic Scientists», che lo aggiorna dal 1947, l'ha definita una «nuova anomalia», anche perché è la prima volta che l'orologio si trova per due volte così vicino all'ora fatidica. L'unica altra occasione in cui fu fissato a due minuti era il 1953, in piena guerra fredda, quando gli Stati Uniti hanno sperimentato per la prima volta la bomba all'idrogeno.

E tanto basterebbe per capire fino a che punto gli scienziati del «Bulletin» siano preoccupati per lo stato del pianeta. Come nel 2017, una fonte di seria apprensione è l'approccio disinvolto di molti paesi, per usare un eufemismo, alla mitigazione del cambiamento climatico. Dopo anni di piccole ma significative riduzioni, le emissioni di gas serra hanno ricominciato ad aumentare, nonostante l'accordo sul clima di Parigi, o forse proprio per la sua debolezza.

Ma nel comunicato di inizio anno torna a farsi viva la minaccia nucleare, dopo i test del 2017 della Corea del Nord e le schermaglie di inizio 2018 tra Trump e Kim Jong-un (che si sono incontrati ad Hanoi mentre questo numero della rivista andava in stampa). Ma non solo. Gli Stati Uniti hanno abbandonato l'accordo nucleare con l'Iran, e hanno annunciato che si ritireranno dall'Intermediate-range Nuclear Forces Treaty (INF): «Gravi passi verso un completo smantellamento del processo di controllo globale degli armamenti». E, nonostante l'apparente distensione dei rapporti tra Stati Uniti e Corea del Nord, la questione delle testate nucleari coreane e dei test missilistici rimane irrisolta.

Infine, i paesi definiti «nucleari» dal Trattato di non proliferazione stanno procedendo con programmi di modernizzazione degli arsenali che – sempre secondo il «Bulletin» – «sono indistinguibili da una corsa mondiale agli armamenti». E le dottrine militari di Russia e Stati Uniti hanno via via più eroso il tabù contro l'impiego di armi atomiche «mentre il processo per negoziare la riduzione delle testate nucleari e delle scorte di materiale fissile è moribondo».

Moribondo. Ma allora chi ce lo fa fare di parlare di disarmo nucleare? In realtà, la ripresa di quel processo avrebbe due effetti positivi per tutti. Al di là di un evidente miglioramento della sicurezza planetaria, lo smantellamento delle testate atomiche potrebbe fornire combustibile per le centrali nucleari per la produzione di elettricità, come raccontano Flavio Parozzi e Franco Polidoro a pagina 30.

Secondo una stima della Federation of Atomic Scientists, sono quasi 15.000 le testate totali negli arsenali militari, ma 5000 sono testate già dismesse da smantellare. A queste si aggiungono le riserve di uranio altamente arricchito e di plutonio, sufficienti per realizzare 100.000 nuove testate, da cui si potrebbero ricavare circa 1250 tonnellate di materiale fissile. «Un buon esempio dei percorsi fatti – scrivono gli autori – è stato dato dall'accordo Megatons to Megawatts tra Stati Uniti e Russia, con cui nel periodo 1993-2013 sono state convertite in combustibile per le centrali di generazione elettrica 20.000 testate nucleari».

Forse non è la stagione più favorevole per parlare di disarmo nucleare, con i leader del mondo che non fanno che mettere in mostra bicipiti. Ma questa non è una buona ragione per non farlo, anzi.

A proposito di biologia e matematica

Il professor Angelo Vulpiani del Dipartimento di fisica della «Sapienza» Università di Roma ci ha inviato alcune osservazioni, riportate di seguito, che riguardano l'articolo dal titolo *I numeri della lotta per la vita*, pubblicato dal professor Piergiorgio Odifreddi nella sua rubrica a p. 14 di «Le Scienze» di dicembre 2018.

Questo articolo sulla biomatematica è rovinato da non poche inesattezze. Un vero peccato, un argomento così bello, nato dal contributo di un grande matematico come Vito Volterra, avrebbe meritato un po' più di cura.

Volterra era il suocero, non il genero, di D'Ancona (questo era il vero nome, non D'Antona).

L' equazione logistica

$$\frac{dx}{dt} = ax(1-x) \quad .(1)$$

non può avere un comportamento oscillante e tanto meno caotico, è facile mostrare che per $a > 0$, se $x(0) > 0$ si ha sempre un comportamento monotono verso il punto fisso $x_* = 1$ che viene raggiunto da sotto se $x(0) < 1$ o da sopra se $x(0) > 1$. Questo è materia per studenti universitari del primo o secondo anno.

In due dimensioni in un sistema autonomo di equazioni differenziali non si possono avere comportamenti diversi da avvicinamento a moti periodici o a punti fissi, questo è assicurato da un ben noto teorema del XIX secolo dovuto a Poincaré e Bendixon, che si studia in ogni corso in cui si trattano le equazioni differenziali. Quindi non si può avere caos, infatti le equazioni di Lotka-Volterra hanno un comportamento periodico.

Il comportamento periodico e caotico descritto da May in un articolo molto noto, non è per l'equazione logistica, ma per la mappa logistica in cui il tempo è discreto

$$x_{t+1} = rx_t(1-xt).$$

La terminologia «effetti reciproci lineari» non è quella che viene comunemente utilizzata e non è molto felice in quanto può generare una certa confusione: da un'assunzione «lineare» si arriva a equazioni non lineari.

È vero che le equazioni di Lotka-Volterra hanno dei problemi come modello realistico di ecosistemi ma non per i motivi riportati, esistono delle generalizzazioni dovute, tra gli altri, a Kolmogorov (che come omaggio a Volterra, pubblicò alcuni articoli in italiano) e Smale.

Dettaglio minore: le ultime equazioni scritte nella forma attuale hanno dei problemi, probabilmente una svista.

Di seguito riportiamo la risposta di Piergiorgio Odifreddi:

Ringrazio il professor Vulpiani per aver cortesemente segnalato le mie imprecisioni ortografiche e tecniche nella rubrica citata. Volendo mettere troppa carne al fuoco, ho finito per confondere il lettore sulla differenza tra discreto e continuo. In futuro mi atterrò al saggio motto leninista: «Meglio meno, ma meglio». Per ora, per trattamenti divulgativi dell'equazione continua di Volterra e di quella discreta di May rimando al libro *Vito Volterra*, di Judith Goodstein (Zanichelli, 2009), e al mio *Abbasso Euclide!* (Rizzoli, 2013), rispettivamente.

ERRATA CORRIGE

Nel numero di novembre 2018, nell'articolo dal titolo *L'ultimo rimasto*, a partire da p. 60 viene usato varie volte erroneamente il termine «Mesolitico» invece di «Paleolitico Medio» e/o di «Middle Stone Age».
Si tratta di un errore, come si evince dai contenuti dell'articolo e dal quadro cronologico a cui si fa riferimento, che indicano quella fase del Paleolitico in cui l'uso di schegge ritoccate si sostituisce a un diverso utilizzo della stessa materia prima, che precedentemente era focalizzato sui nuclei, come per esempio accadeva nei contesti dell'Acheuleano o, più in generale, nel Paleolitico Inferiore.
Ci scusiamo con i lettori.

Allegato a richiesta con il numero di aprile di «Le Scienze» *Mio caro Neanderthal*, un libro di Silvana Condemi e François Savatier

La storia dei nostri fratelli estinti

Poco più di 40.000 anni fa, un gruppo di migranti giunse in Europa provenendo dall'Africa. I nuovi arrivati iniziarono lentamente a conquistare territori, assimilando via via la popolazione che da 300.000 anni viveva in quella regione del mondo. Fu questa, a grandi linee, la dinamica che decretò la fine dei Neanderthal europei a opera di un gruppo di nostri antenati *Homo sapiens* che si insediarono in pianta stabile nel Vecchio Continente.

Per decine di migliaia di anni dopo la loro scomparsa, avvenuta intorno a 38.000-35.000 anni fa, il ricordo degli uomini e delle donne di Neanderthal cadde nell'oblio. Poi, nel 1856, in una valle della Germania vennero alla luce resti fossili inizialmente scambiati per quelli di un orso delle caverne. Erano invece fossili di una specie umana, a cui negli anni successivi alla scoperta fu dato il nome di *Homo neanderthalensis* (dal nome della valle dove erano stati trovati i fossili).

Per lungo tempo questo ominide è stato considerato come un «uomo delle caverne», un nostro lontano parente rozzo da cui noi ci saremmo allontanati per dare vita a una stirpe più raffinata, anche nelle fattezze. La ricerca scientifica però ha stravolto questo ritratto di *H. neanderthalensis*, il quale non era affatto un bruto; quanto alla parentela, poi, i risultati più recenti degli studi sono stupefacenti, come raccontano Silvana Condemi, direttrice di ricerca al CNRS presso l'Università di Aix-Marseille, in Francia, e il giornalista scientifico François Savatier in *Mio caro Neanderthal*, il libro allegato a richiesta con «Le Scienze» di aprile.

Tutte le popolazioni umane che vivono oggi in Europa e in Asia hanno DNA neanderthaliano, in una percentuale che varia tra l'1 e il 4 per cento del DNA totale. Questa eredità è frutto di incroci avvenuti a partire da 100.000 anni fa in Medio Oriente tra le popolazioni di *H. sapiens* che iniziavano a uscire dall'Africa e quelle di *H. neanderthalensis* incontrate lungo la via. Non è solo una testimonianza fossile; il DNA dei Neanderthal è stato ed utile ancor oggi per una serie di funzioni che ci permettono, per esempio, di affrontare microrganismi patogeni che i nostri antenati in arrivo dall'Africa incontravano per la prima volta in Eurasia.

Seguendo un percorso tra le conoscenze accumulate dalla ricerca scientifica studiando *H. neanderthalensis*, il libro distrugge anche il mito del cavernicolo. I neanderthaliani, dispersi tra Europa, Asia settentrionale e Medio Oriente, parlavano, cacciavano, vivevano in clan, seppellivano i morti, curavano gli infermi, fabbricavano strumenti litici, si vestivano e avevano un pensiero simbolico. Ecco perché sarebbe corretto chiamarli «fratelli» (come fanno per tutto il libro gli autori). Sono parenti stretti che vivono ancora in noi.

Secondo il Nobel Anthony Leggett la fisica può essere un modello di rigore per le discussioni che riguardano questioni politiche e sociali

Affrontare le sfide attuali con la testa di un fisico

Ha oltre ottant'anni, un Nobel e innumerevoli lavori al suo attivo, ma Anthony Leggett non si ferma. Dopo gli studi sulla superfluidità che gli sono valsi il premio di Stoccolma nel 2003, ora si dedica soprattutto alla meccanica quantistica e alle sue applicazioni macroscopiche. Così, nel suo ultimo viaggio fra tre continenti, una tappa l'ha fatta a Napoli. Alla Città della Scienza, per riflettere su come la fisica può portare più rigore nel modo in cui affrontiamo le sfide sociali, nell'evento *Verso la comunità del millennio*, organizzato su idea di Paolo Silvestrini dell'Università della Campania, con la partecipazione di scienziati, umanisti, artisti. E all'Università degli Studi di Napoli «Federico II», per inaugurare il nuovo dottorato in tecnologie quantistiche, centrato sulle competenze interdisciplinari per sviluppare dispositivi e tecnologie, e coordinato da Francesco Tafuri, professore alla stessa università.

Non le sembra esagerato proporre la fisica come modello di rigore per le sfide sociali?

Non penso certo che la fisica sia la principale disciplina che può aiutare in queste sfide, anzi, altre lo fanno più direttamente. Ma penso che la pratica della fisica, ben fatta, può essere un utile modello per le discussioni delle questioni politiche e sociali. Perché è una disciplina di un rigore spietato: se sbagli qualcosa, in genere sei scoperto presto. E perché è una disciplina molto quantitativa, in cui per esempio devi continuamente stimare gli ordini di grandezza dei fenomeni. Cosa che manca in molti dibattiti sociali.

Prenda la paura delle radiazioni, anche in dosi minime, quasi innocue. A Fukushima, si stima che le evacuazioni da una vasta area intorno alla centrale abbiano causato dai 500 ai 2000 morti, per esempio per i suicidi di chi ha dovuto abbandonare tutto. Mentre il livello di radiazioni poneva un rischio basso, anche passandoci tutta la vita.

E in pratica, la fisica come aiuterebbe?

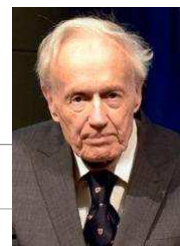
Per fare un esempio, penso che sarebbe molto utile abituare i giovani a queste stime degli ordini di grandezza, insegnandole come materia di studio alle scuole superiori. Negli Stati Uniti pochi anni fa si è dibattuto se insegnare l'algebra alle superiori, tra chi si opponeva perché non ha scopi pratici, e chi riteneva importante che tutti gli studenti si cimentino con il ragionamento matematico puro. Io sono contento che l'algebra sia insegnata. Ma si potrebbero ottenere benefici formativi analoghi facendo studiare argomenti statistici su questioni concrete di interesse generale, che abbinerebbero l'utilità intellettuale a quella pratica.

Cortesia Città della Scienza (*foto in questa pagina e nella pagina a fronte*)

Il pubblico se pensa alla fisica pensa al CERN o alla cosmologia, ma ci sono campi meno famosi altrettanto importanti?

Senz'altro. Ovviamente è affascinante l'idea che puoi sbucciare la materia come una cipolla per arrivare al cuore, su scale sempre più piccole. Ma trovo altrettanto affascinante vedere che cosa succede quando metti insieme tante particelle elementari e queste producono fenomeni nuovi, mostrano proprietà qualitativamente diverse, che non potevi immaginare ragionando al livello delle singole particelle (le cosiddette proprietà emergenti, un termine che a me non piace ma è molto usato). E quest'ultimo è un ambito molto rilevante: forse l'80 per cento dei fisici lavora in quest'area, detta della materia condensata, a scopi applicativi ma anche con moltissima ricerca di base.

Lei ha anche criticato la corsa all'interdisciplinarità, che pure è alla base del dottorato che inaugura

di Giovanni Sabato

CHI È

ANTHONY JAMES LEGGETT

Si è laureato in fisica all'Università di Oxford, dove ha seguito anche studi umanistici. Dopo aver lavorato in varie università, tra cui Oxford e Cornell, dal 1983 è professore di fisica all'Università dell'Illinois a Urbana-Champaign.

Nel 2003 ha ricevuto il Nobel per la fisica per studi sulla superfluidità nell'elio liquido, utili anche in fisica delle particelle e cosmologia.
È membro, tra l'altro, della National Academy of Sciences, della American Philosophical Society.

È stato un precursore nel campo delle tecnologie quantistiche, studiando conseguenze macroscopiche di fenomeni quantistici e l'uso dei sistemi condensati per indagare i fondamenti della meccanica quantistica.

L'intervento di Leggett alla Città della Scienza di Napoli. Nella stessa città, all'Università «Federico II», ha inaugurato il dottorato in tecnologie quantistiche.

Sono del tutto a favore dell'interdisciplinarità quando serve. Solo, non è una virtù in sé. Non mi piace la pratica, comune in Nord America, di condizionare i *grant* alla cosiddetta interdisciplinarità del progetto: non c'è niente di male nel lavorare a un problema che non richiede grandi apporti di altre discipline, per esempio in fisica delle particelle. Quando poi un problema richiede il contributo di più discipline, come la superconduttività ad alte temperature, il coinvolgere anche chimici, ingegneri e così via viene da sé. Non perché lo impone un'agenzia governativa.

È stata una sorpresa trovare effetti quantistici misurabili a livello macroscopico, nella vita reale?

Le racconto un episodio. Nei primi anni novanta curavo una sezione di «Physical Review Letters». Un giorno abbiamo ricevuto un lavoro da paio di autori che non conoscevo di un istituto britannico, su un teorema molto astratto della meccanica quantistica, e lo ho avviato alla valutazione. Ma poco dopo, la rivista ha ricevuto una lettera molto imbarazzata degli autori, che temevano di doverlo ritirare perché i loro superiori volevano classificarlo come segreto di interesse militare. Io non potevo crederci: come poteva una teoria tanto astratta avere un valore militare? Alla fine hanno permesso di pubblicarlo, ma ero scioccato che l'idea fosse stata anche solo presa in considerazione.

E oggi?

Oggi tutto questo non pare più strano. Alcuni aspetti della cosiddetta rivoluzione dell'informatica quantistica (le tecniche di elaborazione dati basate sulla meccanica quantistica) trovano impieghi pratici. Per esempio la crittografia quantistica, già usata in esperimenti dimostrativi per trasferire dati in sicurezza. Alcuni giornalisti ipotizzano che sia già in uso nelle comunicazioni di massima sicurezza del governo statunitense, per esempio tra Casa Bianca e Pentagono.

Lei ci crede?

Beh, in principio non lo trovo impossibile.

Ci sono altri usi?

Un'altra applicazione vicina è la cosiddetta «ricottura quantistica», che permetterebbe di risolvere problemi ostici per i computer ordinari. Per esempio, se devo fare un viaggio in tante tappe, qual è il percorso che minimizza gli spostamenti? Se le tappe sono anche solo una dozzina, diventa molto complicato calcolarlo con i metodi classici, mentre sfruttando algoritmi basati sui principi quantistici il problema è molto più affrontabile. La società canadese D-Wave sostiene di avere già una macchina che lo fa, battendo un computer classico, anche se non hanno pubblicato prove. La mia impressione è che non ci siano arrivati appieno, ma che siano vicini.

In che tempi saranno realtà computer quantistici di uso concreto?

Penso che uno di uso generale, che fa tutto quello che fanno i computer ordinari, sia lontano decenni, ma uno per usi specifici, per risolvere una determinata classe di problemi, potrebbe superare i computer classici già fra dieci anni.

Un dispositivo antisismico da installare sui tetti degli edifici potrà garantire un monitoraggio costante e intervenire in caso di terremoto

Una soluzione innovativa per l'adeguamento sismico

Un'immagine tragica, quella del campanile di Amatrice che svetta intatto mentre tutto intorno il paese è ridotto in macerie. È il 24 agosto 2016 e quell'immagine fa il giro dell'Italia e del mondo. Arriva anche a Milano, in casa di Alberto Bussini, giovane studente del Dipartimento di meccanica del Politecnico di Milano, che ne parla con il suo professore Francesco Ripamonti. La domanda che si pongono i due ingegneri è: «Perché tutte le case e gli edifici intorno, anche più bassi, erano crollati mentre il campanile aveva resistito alle scosse che si erano susseguite in maniera devastante?»

Qualcuno in quelle ore aveva avanzato la teoria secondo cui le costruzioni antiche avessero una migliore tenuta sismica, ma la ragione della tenuta è nel comportamento dinamico del campanile, diverso da quello di tutti gli altri edifici intorno. «Quell'immagine ha fatto scattare in noi la lampadina: dovevamo studiare la dinamica di quella struttura e, partendo da lì, trovare una soluzione innovativa per l'adeguamento sismico degli edifici già costruiti», racconta Bussini. Il giovane si mette all'opera e fa di questo l'argomento della sua ricerca e della sua tesi di dottorato.

In rampa di lancio

Dopo due anni la soluzione è pronta, almeno a livello sperimentale, e con essa anche una serie di algoritmi in grado di analizzare lo stato di un edificio in maniera economica e non invasiva. A gennaio 2018 è stata costituita una *start-up* che, grazie a investimenti personali e al *know-how* del Politecnico di Milano, è titolare di un brevetto e ha iniziato a partecipare alle competizioni per le aziende innovative. Si chiama ISAAC, acronimo di Identification Smart for Adaptive Active Control. «Vincendo alcune competizioni abbiamo potuto finanziare il lavoro per arrivare al prototipo in scala del nostro dispositivo», continua Bussini.

«L'apparecchio reale sarà un parallelepipedo di 30 centimetri di altezza per tre metri di lunghezza da posizionare nel solaio o sul tetto dell'edificio. Al suo interno ci sono una massa inerziale di 500 chilogrammi e attuatori ad altissima prestazione che, in caso di terremoto, faranno oscillare la massa con un moto armonico in modo da contrastare l'oscillazione dell'edificio, riuscendo di fatto ad annullarla». L'idea non è nuova: in Stati Uniti e Giappone questa tecnologia è usata per i grattacieli, ma il dispositivo ISAAC-AMD è molto più leggero dei suoi concorrenti pur garantendo la stessa efficacia: a fare la differenza sono gli attuatori, che fanno raggiungere grandi accelerazioni alla massa. In più, il sistema si calibra da solo, a seconda del tipo e delle condizioni dell'edificio in cui è installato.

Antonio Masiello/AGF (*campanile*)

Il prototipo è stato realizzato e le prime prove sul campo hanno dato risultati che sono andati oltre le aspettative, tanto che oggi ISAAC ha contatti con aziende di gestione immobiliare e di infrastrutture. Per arrivare al prodotto pronto per il mercato, però, si dovrà aspettare fino al 2021. Ma il giovane ricercatore-imprenditore, che oggi ha 25 anni, ha già la soluzione per colmare il tempo che lo separa dalla vendita del dispositivo, cercando di farsi conoscere e contemporaneamente mettere soldi in cassa per proseguire con il processo di industrializzazione: vendere servizi.

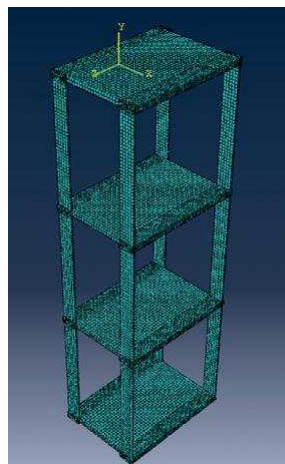
«I nostri algoritmi sono in grado di fare analisi dinamiche delle strutture e già l'anno prossimo potremo offrire ai nostri clienti un prodotto che esegue l'analisi di vulnerabilità sismica in maniera

di Letizia Gabaglio

Il campanile di Amatrice circondato dalle rovine del paese nei giorni successivi al terremoto del 2016. Accanto, la simulazione di una struttura (*a sinistra*) su cui applicare il prototipo (*a destra*) sviluppato da ISAAC.

LA SCHEDA - ISAAC

Azienda fondata il 1 gennaio 2018
Persone di riferimento: Ing. Alberto Bussini (COO), fondatore; Francesco Ripamonti, direttore della ricerca
Sito: www.isaacsrl.com **Mail:** info@isaacsrl.com
Numero di brevetti: 1
Dipendenti-collaboratori-soci: 4

Cortesia Isaac

efficace ed economica», continua Bussini. In poche parole, grazie a specifici programmi, gli ingegneri di ISAAC possono capire se un edificio è a rischio e possono individuare i punti di fragilità delle strutture e quindi suggerire interventi di manutenzione mirata.

«Le tecnologie tradizionali sono piuttosto invasive, richiedono per esempio l'esecuzione di carotaggi: gli edifici vanno sgomberati mentre le infrastrutture devono essere chiuse», spiega l'ingegnere. Con evidenti disagi per la collettività e danni per i gestori che devono interrompere il servizio. In realtà la start-up ha già ricevuto richieste di intervento e sta lavorando, per esempio, con studi di progettazione che partecipano a gare e inseriscono nei loro progetti l'analisi di vulnerabilità a costo ridotto su edifici già esistenti.

Il secondo prodotto che la start-up lancerà sarà sempre un programma, ma questa volta capace di condurre un monitoraggio dinamico continuo delle strutture in modo da individuare i processi che potrebbero portare danni. Una specie di strumento diagnostico per la prevenzione che, in caso di terremoto, potrebbe accertare in tempo reale se un edificio è agibile o meno, se è a rischio crolli

I due prodotti in rampa di lancio possono essere applicati a tutte le costruzioni, in muratura e in cemento armato, aprendo a ISAAC anche il mercato della protezione del patrimonio culturale. «Nell'ambito di in un programma promosso dalla Fondazione Pesenti abbiamo presentato il nostro prodotto attirando l'attenzione della rappresentante della Protezione civile presente nel pubblico», racconta Bussini. «È evidente che i nostri sistemi sarebbero di fondamentale aiuto per il personale che deve agire durante le emergenze e permetterebbero di avere un'idea chiara di quali strutture si possono usare e quali no». La strategia quindi prevede di aggredire il mercato con l'offerta di servizi per stabilire la vulnerabilità delle strutture per poi arrivare, fra due anni, a poter proporre anche il dispositivo.

«Allo stato attuale delle nostre ricerche può essere usato solo per edifici in cemento armato e acciaio, circa il 37 per cento di tutti gli immobili italiani, specialmente quelli costruiti dagli anni sessanta fino agli anni ottanta, quando sono entrate in vigore le prime norme antisismiche», conclude l'ingegnere. Inutile sottolineare come, anche molte strutture edificate dopo quella data non siano a norma. Come testimoniano tragicamente le immagini dei centri abitati che hanno subito dei terremoti.

di Piergiorgio Odifreddi

professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e *visiting professor* alla Cornell University di Ithaca (New York)

Una donna contro Fermat

La matematica francese Sophie Germain cercò di risolvere almeno parzialmente il teorema di Fermat

Millenni prima di Pitagora, Egizi e Babilonesi conoscevano già quelle che in seguito vennero appunto chiamate terne pitagoriche: cioè, le terne di numeri in cui la somma dei quadrati dei primi due (corrispondenti ai cateti di un triangolo rettangolo) è uguale al quadrato del terzo (corrispondente all'ipotenusa).

L'esempio più noto e antico è dato dai numeri 3, 4 e 5, che esibiscono le tre proprietà caratteristiche dei numeri costituenti le terne pitagoriche: in ciascuna deve infatti esserci un numero divisibile per 3, uno divisibile per 4 e uno divisibile per 5, anche se non sempre capita che ad avere queste proprietà siano tre numeri distinti, come invece accade nell'esempio citato.

Estrarre l'essenziale

Nel 1825, Sophie Germain cercò di generalizzare queste proprietà a somme di potenze maggiori dei quadrati, nel tentativo di risolvere almeno parzialmente il famoso teorema di Fermat: l'affermazione, cioè, che non esistono terne di numeri in cui la somma dei cubi dei primi due è uguale al cubo del terzo, e analogamente per le quarte potenze, le quinte potenze, e così via.

Cercando di estrarre l'essenziale dall'esempio precedente, la matematica francese notò anzitutto che l'esponente 2 usato nelle terne pitagoriche è un numero primo: decise dunque di restringere la propria attenzione alle potenze prime. Una restrizione comunque non riduttiva, perché Fermat stesso aveva dimostrato il caso delle quarte potenze, e ogni potenza maggiore di 2 è divisibile per 4 o per un numero primo (o entrambi).

La Germain notò inoltre che 5 è un numero primo «parente» di 2, nel senso che è il successore del suo doppio. Le venne in mente allora di definire quelli che oggi si chiamano «numeri primi di Germain», come quei numeri primi che hanno appunto un tale parente primo. Detto altrimenti, p è un primo di Germain se sono primi sia p che $2p+1$.

Di tali numeri primi ce ne sono parecchi, a partire da 2, 3, 5, 11, 23, 29, 41, 53, 83 e 89, ma non ce ne sono troppi. Per esempio, di numeri primi minori di 100 ce ne sono 25, ma solo i 10 appena enumerati sono primi di Germain. E in generale i numeri primi decrescono come il logaritmo, mentre i numeri primi di Germain decrescono come il quadrato del logaritmo.

Il teorema che Germain dimostrò nel 1825 fu che, come in ogni terna pitagorica di quadrati devono esserci un numero divisibile per 4 e uno per 5, così in ogni analoga terna di potenze di un primo di Germain devono esserci un numero divisibile per p^2 e uno per $2p+1$.

Per applicare il risultato al teorema di Fermat, servivano due passi ulteriori: generalizzare la parentela di un numero primo da uno a più parenti con proprietà analoghe a quelle sopra, e dimostrare almeno per qualche numero primo p l'esistenza di infiniti suoi parenti. Allora, almeno uno dei numeri di una terna di potenze di p avrebbe dovuto avere infiniti divisori, e questa contraddizione avrebbe dimostrato il teorema di Fermat per l'esponente p.

La prima vera matematica

Leonard Dickson dimostrò nel 1909 che non esistono numeri primi che hanno un'infinità di parenti, dunque non si può dimostrare nessun caso particolare del teorema di Fermat alla maniera di Germain. Ma mostrò che era possibile un attacco in grande al problema, e iniziò un percorso che sarebbe sfociato nella dimostrazione di Andrew Wiles nel 1995.

Il teorema di Fermat rende vuoto il teorema di Germain, ma il suo lavoro non è andato perduto. Oggi i suoi primi sono infatti diventati uno strumento fondamentale per la crittografia, e ne discute addirittura Gwyneth Paltrow nel film *Proof* (2005), in un ruolo in parte ispirato a quella che fu la prima vera matematica della storia.

di Elena Castellani

professore associato, Dipartimento di filosofia,
Università di Firenze

Le vie del progresso scientifico

Il futuro della fisica delle particelle, sulla base dei risultati di LHC

Tempo fa si era assistito a un riaccendersi della discussione, non nuova e spesso mal impostata, sull'utilità o meno della filosofia della scienza per la scienza. Senza ritornare sui dettagli della discussione, già trattata a sufficienza nelle rubriche di settembre e novembre 2016, vorrei qui illustrare con un esempio virtuoso come la riflessione filosofica possa risultare utile in alcuni frangenti significativi dello sviluppo dell'impresa scientifica. L'occasione è data dalla discussione che sta suscitando il progetto del CERN di costruzione di un nuovo acceleratore di particelle, il Future Circular Collider (FCC), molto più potente dell'attuale Large Hadron Collider (LHC). La quantità di fondi in gioco è enorme e questo porta inevitabilmente alla domanda se sia giustificato spendere cifre sempre più imponenti in progetti di questo tipo della fisica delle particelle.

È sensato, si chiedono alcuni, affrontare simili costi per proseguire le indagini nella fisica fondamentale – in particolare, cercare «nuova fisica» oltre ai limiti del modello standard delle particelle elementari – quando sul tappeto ci sono questioni urgenti come il cambiamento climatico, la fame nel mondo, malattie di cui ancora non si conosce la cura, e via dicendo?

Il caso del passato

La situazione ricorda un po', *mutatis mutandis*, quella che si è verificata qualche decennio fa con il caso del progetto di costruzione negli Stati Uniti, in Texas, dell'acceleratore noto come SSC (Superconducting Super Collider). All'epoca la discussione si incentrò soprattutto sul tema delle ricadute sociali ed economiche degli investimenti previsti (e in parte già stanziati), con il risultato che il progetto, proposto nel 1982, venne definitivamente bloccato nel 1993 con grandi danni sia economici sia scientifici.

Oggi, le critiche al progetto del FCC poggiano anche su un altro argomento: viene considerato sbagliato continuare a investire su una tipologia di ricerche che non avrebbero portato (alle energie raggiunte al LHC) all'osservazione di «nuova fisica», tra cui innanzitutto le particelle previste in base alla supersimmetria. In breve, non ci sarebbe stato sufficiente progresso per questa via, e quindi, si sostiene, è inutile proseguire: meglio cercare (e finanziare) altre strade.

Questo è per esempio il succo dell'opinione espressa in un editoriale del 23 gennaio sul «New York Times» da Sabine Hossenfelder, non nuova a polemiche sulle direzioni prese dalla fisica fondamentale.

Una visione semplicistica

Tra le diverse reazioni che stanno suscitando simili prese di posizione, risulta particolarmente efficace la riflessione *More than prediction* di Michela Massimi, filosofa della scienza presso l'Università di Edimburgo, apparsa il 31 gennaio scorso sul quotidiano tedesco «Frankfurter Allgemeine». Da filosofa, appunto, l'autrice mette in guardia contro una visione semplicistica del progresso scientifico, per cui, se non si avverano alcune delle predizioni dei modelli adottati, non solo questi vanno abbandonati ma anche l'intera impresa di cui fanno parte deve essere considerata fallimentare.

Come la storia insegna, la scienza procede in diversi modi – anche con risultati negativi che permettono di restringere il campo degli scenari ammissibili, come l'articolo di Massimi mette bene in risalto – e con ricadute teoriche, sperimentali e tecnologiche di varia natura (in questo senso, le ricadute del LHC sono numerose). L'impresa scientifica è molto più ricca e articolata di quanto una visione banalizzata possa far sembrare, e il metterlo in luce è senz'altro un'utile funzione di una riflessione filosofica, storicamente improntata, sulla scienza e il suo sviluppo.

di Giorgio Manzi

ordinario di paleoantropologia alla Sapienza Università di Roma;
socio corrispondente dell'Accademia Nazionale dei Lincei

L'antenato fantasma

Il DNA degli individui di origine asiatica conserva l'impronta di una misteriosa forma umana estinta

Proviamo a costruirci un modello, almeno un modello mentale del tutto orientativo, altrimenti rischiamo di non capire più dove ci sta portando la paleogenetica. Mi sembra che la parola chiave che fa nascere al momento più confusione sia questa: «introgressione». In effetti, i dati che emergono dallo studio del nostro genoma, comparato con quello di alcune forme umane estinte (poche purtroppo), puntano il dito su ripetuti eventi di ibridazione, quindi di introgressione genetica, con passaggio di DNA, fra differenti specie umane nel Pleistocene.

Grazie all'intelligenza artificiale

L'ultima di queste analisi, pubblicata su «Nature Communications», è stata sviluppata in due centri di ricerca di Barcellona, IBE e CNAG-CRG, in collaborazione con l'Università di Tartu in Estonia. Per la prima volta in questo campo, lo studio usa tecniche di analisi di *deep learning* (sottoinsieme del *machine learning*), ovvero basate sull'intelligenza artificiale e sulle reti neurali, aprendo la strada alla loro applicazione in altri settori della biologia evoluzionistica. Nel combinare algoritmi di questo tipo con sofisticate procedure statistiche, i ricercatori hanno mostrato che il genoma di individui di origine asiatica conserva l'impronta di una qualche forma umana diversa da *Homo sapiens* che, decine di migliaia di anni fa, si sarebbe incrociata con gli antenati di popolazioni orientali della nostra specie.

La stessa analisi suggerirebbe che la misteriosa forma umana estinta sarebbe una creatura a sua volta ibrida fra Neanderthal e Denisoviani, simile a quella che (non senza clamore) era stata annunciata l'estate scorsa (*si veda l'articolo* L'ago nel pagliaio *a p. 44*); anche noi ne abbiamo parlato (ottobre 2018). L'adolescente di madre Neanderthal e padre denisoviano, con quest'ultimo che aveva anche qualche antenato fra i Neanderthal, non era dunque un caso isolato, sembrerebbe ribadire la nuova ricerca, ma faceva piuttosto parte di un quadro complesso di ripetute ibridazioni, con eventi diffusi di introgressione genetica.

Come altra possibile interpretazione ci torna in mente una ricerca pubblicata su «Nature» nel 2014, dove si ipotizzava l'esistenza di un *potential unknown hominin*. I dati genetici indicavano uno sconosciuto rappresentante del genere *Homo* che si sarebbe ibridato con i Denisoviani; alcuni di noi pensarono alle ultime popolazioni di *H. erectus* del Sudest asiatico. A loro volta, i Denisoviani (probabilmente diffusi in larga parte dell'Asia continentale) da tempo si ibridavano con i Neanderthal, e lo avrebbero fatto anche con le popolazioni di *H. sapiens* in diffusione nel continente asiatico, come pure con loro si sarebbero ibridati i Neanderthal del Vicino Oriente. Le popolazioni asiatiche di oggi sarebbero detentrici del retaggio di tutte queste ibridazioni.

Un quadro complesso

Altro che «scappatelle»! Gli ultimi rappresentanti del genere *Homo* si incrociavano spesso fra loro, pur appartenendo a specie differenti. E tutto questo appare in contrasto con il significato che diamo comunemente al concetto di specie. I manuali di biologia insegnano che uno dei modi per distinguere tra due specie è che, sebbene alcune possano incrociarsi, generalmente non producono discendenti fertili (pensate al mulo, ibrido sterile tra asino e cavalla).

Tutto però è molto più complesso quando sono coinvolte specie estinte, per le quali non dobbiamo sottovalutare la dimensione diacronica, con una variabilità che si estende anche nel tempo. Ed è così che le specie, tutt'altro che realtà immutabili, ci appaiono come combinazioni genetiche in continuo divenire. Tanto più le conosciamo, tanto più ci accorgiamo che le nostre regole sono soggette a numerose eccezioni. Ce lo mostra bene proprio la paleoantropologia.

di Amedeo Balbi

professore associato di astronomia e astrofisica
al Dipartimento di fisica dell'Università di Roma Tor Vergata

Quando non andammo su Venere

La NASA aveva progettato una missione umana verso il pianeta, ma per fortuna l'idea venne abbandonata

Mentre si avvicina rapidamente il cinquantennale della prima passeggiata di un essere umano sul suolo lunare, e la corsa allo spazio sembra essere ritornata di moda (con i progetti avveniristici di miliardari col pallino delle astronavi, e le potenze emergenti sempre più coinvolte nella faccenda), fa un po' impressione andarsi a riguardare le idee, spesso poco note, che la NASA aveva esplorato negli anni sessanta per il cosiddetto «Apollo Application Program» (AAP), una possibile continuazione del programma Apollo.

La più incredibile, ancora oggi, è senza dubbio quella che prevedeva una missione umana verso Venere. Sì, avete letto bene. Venere è uno dei luoghi più ostili del sistema solare, con temperature superficiali di circa 500° C e pressioni di 90 atmosfere, simili a quelle che avreste nelle profondità degli oceani. Eppure, la NASA aveva seriamente preso in considerazione la possibilità di mandare un equipaggio umano in missione da quelle parti.

Tredici mesi nello spazio

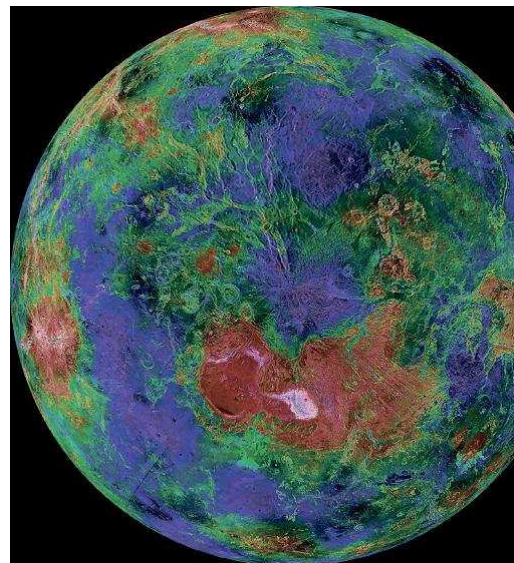
Naturalmente, non si trattava di scendere sul pianeta, impresa che ancora oggi si rivela proibitiva persino per le sonde automatizzate (solo i sovietici, negli anni settanta, sono riusciti a farlo, ma le apparecchiature non hanno resistito a lungo nell'inferno venusiano).

Quello che avevano in mente gli americani era spedire tre astronauti in orbita attorno a Venere. La navicella sarebbe stata in realtà una vera e propria stazione spaziale di una trentina di metri, dove l'equipaggio avrebbe dovuto trascorrere ben 13 mesi, di cui circa quattro necessari per raggiungere il pianeta. Arrivati là, il veicolo avrebbe sorvolato Venere (da una a tre volte, a seconda delle varianti proposte), avvicinandosi fino a circa 6200 chilometri, per poi riprendere immediatamente il viaggio di ritorno. Durante le orbite, gli astronauti avrebbero gestito una serie di sonde e strumenti per studiare da vicino la superficie e l'atmosfera venusiana.

Sembra fantascienza, ma il progetto era reale (si possono consultare i documenti, ormai pubblici, negli archivi NASA). C'era pure una data proposta per la partenza: il 31 ottobre del 1973. In realtà, come sappiamo, le cose sono andate in maniera molto diversa.

Una brutta fine

Già dal 1968, ancora prima che Armstrong lasciasse la sua impronta sulla Luna, il budget della NASA fu ridotto drasticamente, e il programma Apollo si concluse nel 1972 con la missione Apollo 17. A ogni modo, anche se la disponibilità economica fosse stata maggiore, c'è da chiedersi se una missione del genere, complessa e rischiosa, e con pochi vantaggi rispetto a una missione automatizzata con obiettivi scientifici simili, avrebbe avuto l'approvazione del Congresso degli Stati Uniti. Delle molte idee esplorate per l'AAP (tra cui c'era anche l'immancabile missione umana verso Marte, immaginata per gli anni ottanta), solo la stazione spaziale Skylab venne effettivamente realizzata (fu occupata per appena 24 settimane, tra il 1973 e il 1974).

Col senno di poi, comunque, possiamo dire che la mancata realizzazione dell'ambiziosa missione umana verso Venere fu provvidenziale. All'epoca non si sapeva ancora molto sui rischi dell'attività solare per le missioni umane. In particolare, la prima violenta emissione di particelle cariche di alta energia da parte del Sole (la cosiddetta «espulsione di massa coronale») fu osservata chiaramente solo nel 1971. Oggi sappiamo che ce ne sarebbe stata una nel luglio del 1974, proprio durante il viaggio di ritorno della proposta missione umana da Venere. Se le cose fossero andate in questo modo, è molto probabile che gli astronauti a bordo della navicella, non protetti dal campo magnetico terrestre, avrebbero fatto una brutta fine.

Vista dal Polo Nord. Questa immagine di Venere, centrata sul Polo Nord del pianeta, è stata ottenuta da foto scattate tra il 1990 e il 1994 dalla sonda Magellan della NASA e da informazioni ottenute con il radiotelescopio terrestre di Arecibo. I falsi colori indicano le elevazioni della superficie venusiana.

NASA/JPL/USGS

IL RAPPORTO

Le dieci minacce alla salute globale

L'Organizzazione mondiale della Sanità ha stilato la lista delle priorità da affrontare

Marco Longari/Stringer/Getty Images

Tra virus e povertà. Una donna e suo figlio appena nato in un ospedale della Sierra Leone. Il paese africano è stato toccato da una recente epidemia di Ebola, affrontata con un sistema sanitario debole: due esempi delle priorità stabilite dall'OMS.

Ci sono vecchie conoscenze e qualche nuovo ingresso, nella lista delle dieci maggiori minacce alla salute globale per il 2019 stilata dall'Organizzazione mondiale della Sanità (OMS), ma anche i nomi noti mostrano risvolti inediti. Come la Dengue, che si sta espandendo oltre le usuali aree (tropicali) e stagioni (delle piogge). O Ebola, che pone difficoltà nuove quando raggiunge le aree urbane. Ai patogeni emergenti noti, l'OMS aggiunge poi la «malattia X»: i preparativi per fronteggiare un'eventuale epidemia di un germe ignoto. Mentre resta costante l'allerta per la prossima pandemia influenzale, su cui il dubbio non è se colpirà, ma solo quando e con quale virulenza.

Nonostante i tanti progressi, resta nella *top ten* l'HIV, contro cui l'OMS punta sui test fai-da-te, per arrivare ai tanti gruppi emarginati tuttora ardui da raggiungere. Cresce poi il rischio che gli antimicrobici perdano efficacia a causa delle resistenze, già oggi preoccupanti per la tubercolosi e altre malattie. Fra i nuovi arrivi spicca l'esitazione vaccinale, la riluttanza a immunizzare sé o i propri figli: una minaccia peculiare perché dovuta a una scelta di comportamento, dettata da negligenza o sfiducia, ma anche dall'accesso faticoso ai servizi sanitari. E che contribuisce – ma non da sola – all'aumento del 30 per cento dei casi globali di morbillo che è stato registrato.

Oltre ai 2-3 milioni di morti annue che prevengono, i vaccini potrebbero evitarne 1,5 milioni in più se le coperture aumentassero. L'OMS sostiene gli operatori sanitari nelle comunità, la prima linea per fugare dubbi e resistenze, e per il 2019 ha un programma specifico sul papillomavirus, e spera di interrompere la circolazione della poliomielite in Afghanistan e Pakistan.

I germi fanno forse più paura, ma il 70 per cento dei decessi al mondo dipende da malattie non infettive. Oltre ai classici fattori di rischio, come fumo e abuso d'alcool, l'OMS ha nel mirino l'inattività fisica, con un programma per ridurla del 15 per cento entro il 2030.

Sul piano ambientale, il maggior rischio per la salute è l'inquinamento dell'aria, che fa 7 milioni di morti annui. E il problema connesso del cambiamento climatico, causato anch'esso in primo luogo dall'uso dei combustibili fossili. Completano la lista le cure primarie spesso inadeguate (anche perché in passato ci si è concentrati troppo su singole malattie, trascurando l'irrobustimento complessivo dei sistemi sanitari), e la fragilità degli 1,6 miliardi di persone che vivono in zone di crisi, con sistemi sanitari deboli.

A coordinare l'arcipelago di iniziative partirà nel 2019 il nuovo piano quinquennale dell'OMS, il tredicesimo programma generale di lavoro, per affrontare in modo organico su più fronti le tante minacce. Che, precisa l'OMS, non si limitano alle dieci elencate: «Sono quelle prioritarie, ma non certo le uniche».

Giovanni Sabato

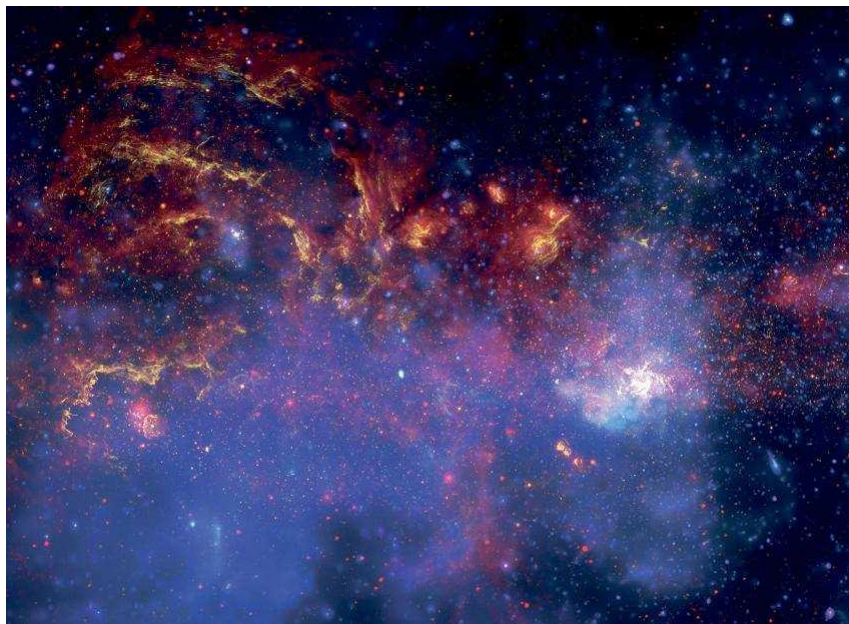
ASTROFISICA

In diretta dal centro della galassia

Un'emissione radio dal buco nero al centro della Via Lattea è orientata verso di noi

Il getto radio emesso dal buco nero supermassiccio al centro della nostra galassia potrebbe essere orientato proprio verso di noi. A ipotizzarlo, in un articolo pubblicato sull'«Astrophysical Journal», è un gruppo di astronomi guidato da Sara Issaoun, della Radboud University di Nimega, nei Paesi Bassi, che ha studiato in dettaglio SgrA*, la radiosorgente più intensa della costellazione del Sagittario, quella che appunto identifica la direzione del buco nero galattico.

Grazie a osservazioni con la tecnica VLBI (Very Long Baseline Interferometry) effettuate a livello mondiale con l'inclusione dell'Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), in Cile, Issaoun e colleghi sono riusciti a migliorare di un fattore due la risoluzione angolare raggiunta dalle precedenti osservazioni, scoprendo così che la regione da cui proviene l'emissione radio ha un'estensione molto minore di quanto ipotizzato finora.

Le osservazioni, effettuate nella frequenza radio di 86 gigahertz, che corrisponde a una lunghezza d'onda di 3,5 millimetri, hanno mostrato che questa regione, una volta eliminati gli effetti della diffusione interstellare prodotta dal gas ionizzato presente lungo il tragitto dalla sorgente a noi, è estesa appena un trentamilionesimo di grado e ha una morfologia simmetrica: informazioni che pongono forti restrizioni alle caratteristiche della sorgente.

Le ipotesi in campo per spiegare la tipologia di emissione, formulate grazie all'elaborazione di diversi modelli teorici, sono due: è prodotta da dischi di gas che stanno precipitando nel buco nero oppure da un getto praticamente orientato verso la Terra. E l'ipotesi che la nostra posizione rispetto al getto radio sia privilegiata è avvalorata anche da osservazioni indipendenti effettuate con l'interferometro ottico del Very Large Telescope (VLT) dell'European Southern Observatory.

Emiliano Ricci

Nuovo passo verso i superconduttori a temperatura ambiente

Creare un superconduttore a temperatura ambiente è stato considerato a lungo un obiettivo irrealistico dalla maggior parte dei fisici, ma oggi appare molto più vicino. Due gruppi indipendenti di ricercatori – guidati rispettivamente da Russell Hemley della George Washington University di Washington D.C., e da Mikhail Eremets del tedesco Max-Planck-Institut für Chemie – hanno realizzato un composto che manifesta le tipiche proprietà di un superconduttore a temperature comprese tra 250 e 280 kelvin (quindi tra -23 e 7 °C). Il primo gruppo ha pubblicato i risultati su «Physical Review Letters», il secondo per ora sulla piattaforma on line arXiv.org.

La caratteristica chiave dei materiali superconduttori è l'assenza di resistenza elettrica al di sotto di una certa temperatura critica. Per molto tempo, sulla base della teoria e delle osservazioni sperimentali, si è creduto che questa temperatura di transizione dovesse essere necessariamente molto bassa, ponendo quindi limiti assai forti alle possibili applicazioni. Tuttavia, alcuni modelli teorici sviluppati di recente prevedono che particolari composti ibridi ricchi di idrogeno, sottoposti a pressioni molto elevate, possano supercondurre a temperature vicine a quella ambiente.

Superando difficoltà sperimentali tutt'altro che banali, i due gruppi di ricerca sono riusciti – con tecniche diverse – a realizzare un materiale (LaH_{10}) composto da idrogeno e lantanio che conferma le previsioni del modello: a una pressione di circa due milioni di atmosfere, il gruppo di Eremets ha osservato una caduta della resistenza elettrica a 250 kelvin, quello di Hemley a 280 kelvin.

Secondo i ricercatori, la scoperta potrebbe aprire una nuova era nelle applicazioni dei superconduttori, ma la strada è ancora lunga. Il prossimo passo sarà la verifica in questi materiali di un'altra proprietà dei superconduttori, molto complicata da testare: il cosiddetto effetto Meissner, cioè l'espulsione del campo magnetico dal materiale superconduttore.

Matteo Serra

NASA/CXC/JPL-CALTECH/ESA-STSCI/SPL/AGF

INGEGNERIA GENETICA

Il gene drive arriva nei mammiferi

Sperimentata con successo sui topi questa tecnica di trasmissione genetica

Anche nei mammiferi si può cambiare il patrimonio genetico di un'intera popolazione con il *gene drive*, la tecnica che fa sì che uno dei due alleli (ovvero le forme alternative di uno stesso gene) sia ereditato molto più spesso dell'altro e, nel giro di alcune generazioni, divenga predominante, se non esclusivo, nella popolazione. Sviluppato soprattutto negli insetti, il gene drive è in fase di studio per controllare le malattie trasmesse dalle zanzare, diffondendo alleli che le rendano sterili o resistenti al patogeno. Finora però non era stato adattato ai meccanismi ereditari dei mammiferi.

Lo ha fatto nei topi Kimberly Cooper, biologa all'Università della California a San Diego, che pubblica il lavoro su «Nature». Cooper ha usato la CRISPR, la tecnica per editare con precisione il DNA, per manipolare alcuni geni attivi nella formazione dei gameti femminili. Ha alterato così la trasmissione dalla madre ai figli del gene che codifica per la tirosinasi, un enzima che influenza il colore del pelo. In pratica in questi topi, durante lo sviluppo dei gameti, l'allele indesiderato della tirosinasi è modificato, diventando uguale a quello che si vuole diffondere: se la tecnica funzionasse alla perfezione, tutti i figli erediterebbero solo quest'ultimo.

In realtà resta molto da perfezionare: la tecnica funziona solo nelle femmine (e non è chiaro perché), e ha un'efficienza del 70 per cento, non ancora ottimale. La procedura comunque potrebbe già aiutare gli studi di laboratorio. Con le tecniche ordinarie, per esempio, è laborioso produrre ceppi di topo con molti geni modificati, che facciano da modello di malattie genetiche complesse; il gene drive dovrebbe facilitare questo compito. Per gli usi sul campo invece – per esempio per eliminare da un'isola i roditori invasivi introdotti – al di là di tutte le cautele che occorrerebbero, la tecnica è ancora immatura.

Giovanni Sabato

Luis Domingo/agefotostock/AGF

Gufi o allodole? Scoperti centinaia di nuovi geni coinvolti nel cronotipo

Un gruppo di scienziati ha associato 327 nuovi geni alla tendenza a svegliarsi presto oppure tardi la mattina; la scoperta aumenta enormemente le possibilità della ricerca scientifica di individuare i processi biologici alla base delle differenze individuali in fatto di cronotipo.

Come già si era visto in passato, parecchi dei geni scoperti nei laboratori dell'Harvard Medical School di Boston e di altre università sono risultati attivi nelle aree del sistema nervoso (come il nucleo soprachiasmatico) che scandiscono il ritmo dell'orologio biologico. Ma, oltre alla velocità delle lancette dell'orologio biologico, altri meccanismi potrebbero spiegare perché il momento migliore in cui iniziare la giornata non è lo stesso per tutti. Secondo gli scienziati che hanno scoperto le centinaia di nuovi geni coinvolti nel cronotipo,hanno un ruolo anche differenze comuni nel modo in cui le cellule della retina catturano la luce presente nell'ambiente, come anche nei processi che regolano l'appetito, la secrezione di insulina e addirittura il metabolismo di nicotina e caffeina (due sostanze che alterano la capacità di rimanere svegli) possono influenzare il cronotipo individuale.

E la tendenza a essere «allodole» o «gufi» come si collega all'insorgenza di malattie? La ricerca pubblicata su «Nature Communications» ha provato a rispondere anche a questo. Analizzando i dati raccolti su decine di migliaia di persone, il gruppo di genetisti coordinati da Richa Saxena e Michael Weedon, che da tempo studiano le varianti genetiche collegate al ritmo circadiano e associate allo sviluppo di alcune malattie, ha notato che svegliarsi presto la mattina diminuisce il rischio di soffrire di schizofrenia e depressione e, più in generale, si conferma un'abitudine connessa a uno stato di maggiore benessere mentale. Ma, nonostante la vasta letteratura sul tema, nemmeno il più ampio studio realizzato finora sulla genetica del ritmo circadiano ha fatto chiarezza sui meccanismi che legano cronotipo e salute mentale.

Sara Mohammad

RISCALDAMENTO GLOBALE

Una siccità da cui fuggire

Periodi di scarsità eccezionale di pioggia innescano e alimentano flussi migratori

Che ci sia una relazione fra cambiamento climatico e una crescita delle migrazioni dai paesi del sud del mondo è un'ipotesi avanzata da tempo da diversi studi di taglio sociopolitico, che hanno illustrato i possibili legami fra questi due fenomeni, ma senza fornire una spiegazione generale. Una ricerca pubblicata su «Global Environmental Change», coordinata da Guy Abel, statistico della Shanghai University e collaboratore dell'International Institute for Applied Systems Analysis, cerca di colmare questa carenza.

Abel e colleghi hanno analizzato il periodo 2006-2015, incrociando i dati dell'UNHCR su numero e provenienza di richiedenti asilo in 157 paesi con quelli sulla siccità ottenuti dalla Climatic Research Unit della Università dell'East Anglia, e con quelli sui conflitti armati dell'Uppsala Conflict Data Program. Infine hanno valutato informazioni sull'assetto politico dei paesi di provenienza dei migranti.

«È risultato che periodi di siccità eccezionali per durata e intensità, indicati come conseguenza del cambiamento climatico, giocano un ruolo significativo nella creazione di flussi di migranti», spiega Abel. «La siccità agisce da detonatore di confitti per le risorse in paesi retti da governi autoritari e inefficienti, con una situazione sociale e politica già tesa, che sfociano talvolta in scontri armati e conseguenti fughe di massa oltreconfine», dice. Il gruppo ha individuato questa correlazione in aree «calde» come Yemen, Myanmar, Nigeria o Mali, ma è risultata particolarmente evidente nel caso delle primavere arabe del 2010-2012.

«Siccità e crescita del prezzo del cibo hanno già scatenato rivolte e cambi di regime in Tunisia ed Egitto, ma i massimi effetti si sono visti in Siria, dove i contadini del sud del paese hanno abbandonato le terre inaridite, migrando nelle città e facendo confluire il loro disagio nelle forti tensioni politiche già presenti, fino all'esplosione della guerra civile e alla fuga di cinque milioni di siriani nei paesi vicini e in Europa», conclude Abel.

Alex Saragosa

La deriva climatica italiana

In Italia c'è stato un forte riscaldamento medio negli ultimi decenni, ma quello che tutti noi realmente percepiamo – e di cui si parla sui mezzi di comunicazione – sono gli estremi di caldo o di freddo. Generalmente si ha l'impressione che questi eventi estremi siano cambiati rispetto al passato, ma solo analisi climatologiche quantitative possono dare un'informazione affidabile. L'andamento dei record di caldo e di freddo in Italia segue ancora il normale comportamento degli estremi in un clima costante, cioè in condizioni di temperatura media stazionaria? O bisogna ammettere che questo comportamento sia effettivamente cambiato e ora segue una legge diversa?

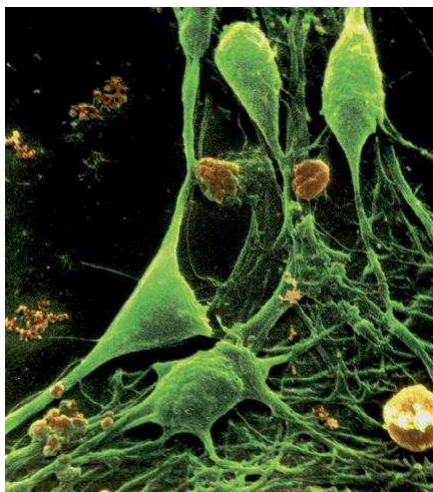
Se lo sono chiesti Stefano Amendola, dottorando in fisica all'Università degli Studi Roma Tre, e collaboratori in un articolo pubblicato sulla rivista «International Journal of Climatology». Analizzando i dati di 54 stazioni italiane nel periodo 1961-2016 e usando una metodica innovativa, i ricercatori hanno estratto le informazioni della variabilità di temperatura tra il 1961 e il 1980 e hanno simulato il numero di record termici (di caldo e freddo) per le medie mensili che si sarebbero avuti dal 1981 in poi se non fossero cambiate le condizioni di temperatura e variabilità. Poi hanno confrontato questi andamenti con i dati osservati realmente.

È così emerso che in molti mesi, specialmente in estate, il numero di record di caldo ha superato abbondantemente quello che ci si doveva aspettare in un regime di clima costante. La frequenza dei record di freddo va invece calando, specie dagli anni novanta. Solo nei mesi di dicembre e gennaio il numero di record di caldo segue ancora un andamento da clima costante. In generale, comunque, siamo in presenza di una netta deriva climatica, non solo per la temperatura media, ma anche per gli estremi mensili.

Antonello Pasini

Riccardo De Luca/AGF

L'origine evolutiva unica dei neuroni

I neuroni di tutti gli animali hanno la stessa origine evolutiva: da cellule che secernono sostanze nell'ambiente. Lo mostra un'analisi sugli ctenofori, semplici animali marini di aspetto simile alle meduse ma che costituiscono un *phylum* distinto, e potrebbero essere la prima linea separatasi dagli altri animali nel corso dell'evoluzione.
Anche gli ctenofori hanno cellule nervose, ma particolari. Qualche anno fa, la scoperta che uno ctenoforo è privo di alcuni geni cruciali nel sistema nervoso degli altri animali ha fatto ipotizzare che i loro neuroni si siano evoluti indipendentemente. Il sistema nervoso sarebbe quindi comparso due volte nell'evoluzione.
Non è così, dice Joseph Ryan, dell'Università della Florida a St. Augustine. L'anno scorso Ryan aveva mostrato, in modo del tutto inatteso, che nell'embrione degli ctenofori i neuroni derivano dagli stessi progenitori dei colloblasti, cellule dei tentacoli che secernono una sostanza adesiva per afferrare le prede.
Ora – ha raccontato al recente meeting annuale della Society for Integrative and Comparative Biology statunitense – scandagliando la letteratura, ha visto che anche in altri animali, dalle meduse ai moscerini, i neuroni e certe cellule secretorie hanno un'origine embrionale comune. I suoi ultimi studi, inoltre, mostrano che i neuroni degli ctenofori hanno proprietà elettriche simili agli altri,

rafforzando l'idea che non siano così diversi. Di qui la sua tesi: i neuroni sono una variante di una famiglia di cellule secretorie e si sono evoluti una sola volta in un antenato comune a tutti gli animali odierni, per poi essere persi nei pochissimi gruppi viventi che non ne hanno, come le spugne.
La prova non è definitiva, perché i neuroni potrebbero comunque essersi evoluti due volte dallo stesso tipo di cellule. Ma l'origine unica appare ora la spiegazione più immediata.

Giovanni Sabato

Sinapsi artificiali grazie ai memristori

Una ricerca di Silvia Battistoni, Victor Erokhin e Salvatore Iannotta, dell'Istituto dei materiali per l'elettronica ed il magnetismo del Consiglio nazionale delle ricerche, pubblicata su «Advanced Materials Technologies», indica una strada per costruire protesi e computer ibridi, costituiti da neuroni e componenti elettronici. «Siamo riusciti a collegare fra loro neuroni, sostituendo la sinapsi con un memristore: un dispositivo che cambia il segnale in uscita, "ricordando" la corrente che lo ha già attraversato», spiega Erokhin. I memristori, costituiti di polimeri biocompatibili, posti dai ricercatori fra coppie di neuroni, fanno passare l'impulso dal neurone a monte a quello a valle, solo quando l'input del primo supera una certa soglia. «Abbiamo constatato che un solo memristore riproduce bene la funzione della sinapsi, sia dal punto di vista dell'eccitazione tra i neuroni, che nella sua evoluzione temporale, mentre prima per ottenere un risultato simile servivano almeno 90 transistor. Con la nostra tecnica sarà possibile progettare circuiti nervosi tridimensionali, per esempio per riconnettere midollo spinale danneggiato, o per creare computer ibridi in grado di imitare certe caratteristiche del cervello, come il veloce riconoscimento in condizioni reali di volti od oggetti».

Alex Saragosa

journalturk/iStock (*donna con velo*); CNRI/SPL/AGF

Un tessuto buono per tutte le stagioni

Fresco d'estate, caldo d'inverno. Sono le caratteristiche di un tessuto in grado di regolare la quantità di calore del corpo umano che lo attraversa, progettato e sviluppato da YuHuang Wang dell'Università del Maryland a College Park e colleghi.
La maggior parte dei tessuti usati oggi intrappola il calore emesso dal nostro corpo sotto forma di radiazione infrarossa permettendo di restare caldi quando fa freddo; altri fanno fuggire il calore irradiato dal corpo, generando così una sensazione di freschezza. Tuttavia finora non esisteva un tessuto che coniugasse le due proprietà. Come illustrato su «Science», Wang e colleghi hanno creato un filato che, realizzato con fibre polimeriche rivestite da un sottile strato di nanotubi di carbonio, interagisce dinamicamente con la radiazione infrarossa emessa dal corpo umano.
Quando quest'ultimo è eccessivamente caldo o umido, per esempio a causa di una sudorazione eccessiva, le fibre polimeriche, che assorbono l'acqua, si deformano, aprendo piccole porosità nel tessuto. Questo meccanismo ha un piccolo effetto rinfrescante perché permette a una parte del calore di sfuggire. Al contrario, quando fa freddo, la fibra polimerica si distende e il rivestimento blocca la radiazione infrarossa, intrappolandola e permettendo al corpo di rimanere a una temperatura confortevole. (*CaBi*)

Vedere come gli uccelli nella foresta

Per la prima volta è stata messa a punto una videocamera che simula il modo in cui gli uccelli vedono l'ambiente circostante. E grazie a questo dispositivo è stato finalmente possibile spiegare come fanno gli uccelli a evitare prontamente gli ostacoli quando volano in mezzo alle fronde. Il segreto, si è scoperto, è nelle percezione dei colori e anche dei raggi ultravioletti.

Gli autori della ricerca pubblicata su «Nature Communications», Cynthia Tedore e Dan-Eric Nilsson, entrambi biologi dell'Università di Lund, in Svezia, hanno dimostrato che oltre alla visione basata sui tre colori primari (rosso, verde e blu) come quella degli esseri umani, gli uccelli sono in grado di vedere anche nelle frequenze dell'ultravioletto. Proprio questa capacità, come svelato dalle immagini della nuova videocamera, permette agli uccelli di percepire un livello di contrasto elevatissimo e quindi di individuare i dettagli in un ambiente che per noi sarebbe praticamente soltanto verde. In particolare, quello che gli uccelli vedono e che per noi è di fatto invisibile, è il contrasto tra le facce superiori e quelle inferiori delle foglie. Per lo sviluppo del dispositivo sono stati messi a punto particolari filtri rotanti che simulano il funzionamento della retina. (*MaSe*)

A caccia di serbatoi di virus

Conoscere il nemico per anticiparne le mosse. In epidemiologia, questo significa sapere quale animale ospita i virus prima della trasmissione all'essere umano e usare questa informazione per prevedere da dove potrebbe arrivare la prossima epidemia, così da mantenere alta l'attenzione. È quello che hanno fatto ricercatori coordinati da Pranav Pandit dell'Università della California a Davis, partendo dai dati ecologici e fisiologici degli ospiti di 35 *Flavivirus*, genere a cui appartengono i virus Zika, Dengue, della febbre gialla e dell'encefalite giapponese. Una volta disegnato l'identikit dei serbatoi virali, leggiamo nello studio su «Nature Communications», i ricercatori hanno usato un algoritmo per trovare candidati dalle caratteristiche simili in una platea di circa 10.400 uccelli e 5500 mammiferi. Ne sono usciti centinaia: per i virus Zika e della febbre gialla, per esempio, si è scoperto che ci sono nove specie di primati fino a oggi ignorate che potrebbero invece ospitare i patogeni; per la Dengue sono saltati fuori 139 nuovi possibili ospiti; per l'encefalite giapponese sono stati 388 e, sempre per questa ultima malattia, la brutta notizia è che sebbene per ora sia confinata in Asia, potrebbe arrivare anche in Europa. (*MaSa*)

Freder/iStock (*pappagalli*); Philippe Psaila/SPL/AGF (*pipistrello*)

Risolto il mistero dei crateri da impatto più antichi

Per lungo tempo la relativa carenza di crateri da impatto molto antichi rispetto a crateri più recenti, assai più numerosi, è stata attribuita all'azione dell'erosione presente sulla superficie terrestre, che con il tempo ne avrebbe lentamente cancellato le tracce. Ma adesso, secondo uno studio effettuato da un gruppo guidato da Sara Mazrouei, dell'Università di Toronto, in Canada, il motivo potrebbe essere un importante aumento nel tempo del tasso di impatti con il nostro pianeta, forse prodotto da collisioni nella fascia principale degli asteroidi.

La ricerca, descritta su «Science», parte dall'ipotesi che Terra e Luna, in quanto molto vicine, abbiano subito bombardamenti analoghi in termini qualitativi e quantitativi. Il problema, finora, era datare i crateri lunari. Ma, grazie ai dati della sonda Lunar Reconnaissance Orbiter della NASA e a modelli relativi al tasso di sbriciolamento delle rocce lunari dovuto agli impatti, è stato possibile risalire all'età e al numero di crateri fino a un miliardo di anni fa. La scoperta è che da 290 milioni di anni fa a oggi, cioè dalla fine del Paleozoico, il numero di collisioni è quasi triplicato rispetto ai 700 milioni di anni precedenti. Ecco spiegata la carenza di crateri più antichi senza dover invocare gli agenti erosivi terrestri. (*EmRi*)

Uno stretto legame tra mutazioni e ricombinazioni

Le due grandi fonti di variazione genica umana, mutazioni del DNA e ricombinazione dei cromosomi, sono intrecciate fra loro: le mutazioni non avvengono con la stessa probabilità lungo tutto il cromosoma, ma sono molto più frequenti vicino ai siti in cui c'è stata una ricombinazione.

Lo mostra un'analisi genomica su oltre 150.000 islandesi pubblicata su «Science» da Kari Stefansson, leader della società deCODE. Confrontando i genomi dei genitori e dei figli, i ricercatori hanno individuato milioni di ricombinazioni e oltre 200.000 mutazioni, localizzandole con precisione inedita. Hanno così osservato che, entro un migliaio di nucleotidi da un sito di ricombinazione, le mutazioni sono 50 volte più frequenti della media. Dato che le ricombinazioni a loro volta sono più frequenti in certi punti, ciò significa che le mutazioni colpiscono di preferenza certe regioni genomiche.

I due eventi dipendono poi da età e sesso dei genitori: le donne contribuiscono molto di più alle ricombinazioni, gli uomini alle mutazioni, e queste ultime aumentano con l'età di entrambi i genitori, ma soprattutto dei padri. Stefansson ha infine individuato decine di geni che influiscono sia sulla frequenza sia sulla posizione della ricombinazione. (*GiSa*)

Un robot che si adatta alla realtà che cambia

Se c'è un limite imputato ai robot è che mancano della percezione di se stessi e, per questo, non possono avvicinarsi alla nostra efficienza nell'affrontare un imprevisto. Ora però uno studio effettuato dal Creative Machine Lab della Columbia University cambia lo scenario. In un articolo pubblicato su «Science Robotics» e firmato dal ricercatore Robert Kwiatkowski e da Hod Lipson, direttore del laboratorio, viene descritto come un braccio robotico a quattro assi di libertà sia riuscito ad autocostruirsi un modello di se stesso e a dotarsi anche di un embrione di autocoscienza.
«Abbiamo fatto muovere il robot – spiega Kwiatkowski – in modo casuale e raccolto dati su circa 1000 traiettorie, descritte da una sequenza di punti nello spazio. Poi abbiamo applicato tecniche di apprendimento automatico per permettere alla macchina di crearsi un modello delle proprie capacità di movimento.»
Grazie a quel modello il robot si è dimostrato in grado di cambiare da solo traiettorie in presenza di ostacoli non previsti, cosa che normalmente richiede una riprogrammazione. Ma non è finita qui. Gli autori dello studio hanno anche provato a modificarne la struttura esterna, deformandolo, e il robot si è reso conto da solo del cambiamento, riadattando i propri gesti alla nuova realtà. (*RiOl*)

Fotosintesi più efficiente per crescere di più

Aumentare la produttività dei raccolti per sfamare una popolazione in crescita? La ricerca ci sta lavorando. Su «Science», Donald Ort e il suo gruppo dell'Università dell'Illinois a Urbana-Champaign spiegano come hanno incrementato la crescita di piante di tabacco, sperando di replicare il risultato in colture alimentari. La chiave è tagliare gli sprechi. La fotosintesi, che avviene nei cloroplasti, non è efficiente: l'enzima che cattura anidride carbonica dall'atmosfera dando il via al processo il 20 per cento delle volte «sbaglia» e prende ossigeno invece che CO_2. Il risultato è la produzione di un composto tossico la cui eliminazione, la cosiddetta fotorespirazione, che coinvolge i cloroplasti, succhia alla pianta il 20-50 per cento di energia che potrebbe invece essere destinata alla fotosintesi. Inserendo nei cloroplasti del tabacco (facile da manipolare geneticamente e con un veloce ciclo vitale) un gene di un'alga verde e uno della zucca, i ricercatori hanno «piratato» la fotorespirazione modificandone i passaggi così da far risparmiare energia alle piante: la produzione di biomassa è salita del 40 per cento. (*MaSa*)

franckreporter/iStock

Testate da riciclare

Le bombe atomiche custodite negli arsenali di vari paesi potrebbero essere dismesse in modo da fornire combustibile per centrali nucleari che producono elettricità

di Flavio Parozzi e Franco Polidoro

US NATIONAL ARCHIVES/Science Photo Library/AGF

Il 16 luglio 1945 in Europa la guerra era finita da più di due mesi, ma il conflitto era ancora aperto con il Giappone. Nei pressi di Alamogordo, nel deserto del New Mexico, veniva collaudato il funzionamento della prima bomba atomica, a cui gli Stati Uniti stavano lavorando da quando temevano che un progetto analogo fosse già in cantiere in Germania.

A questo collaudo generale era stato dato il nome di Trinity Test. L'esplosione della sua piccola sfera di plutonio aveva coronato le aspettative del Progetto Manhattan, liberando una potenza equivalente a poco meno di 20.000 tonnellate di tritolo. Qualche settimana dopo, l'uso di due ordigni come questo sulle città di Hiroshima e di Nagasaki costrinse il Giappone alla resa, mettendo fine alla seconda guerra mondiale.

Questo fu il «peccato originale» che segnò per sempre l'energia nucleare nonostante i benefici portati in seguito dalle sue applicazioni pacifiche in svariati campi. Purtroppo fu l'inizio di una nuova era militare dopo l'invenzione delle armi da fuoco.

La corsa alla nuova super-arma avvenne infatti senza tregua. Già a partire dal 1946 gli Stati Uniti ripresero i loro test atomici nell'Oceano Pacifico, con l'Operazione Crossroads, nell'atollo di Bikini. Nel 1949 li raggiunse l'Unione Sovietica con la sua prima detonazione nucleare nel poligono di Semipalatinsk, in Kazakhstan. E poi li seguirono di lì a poco Regno Unito e Francia, tanto che, dopo il 1950, durante la guerra fredda tra Stati Uniti e Unione Sovietica, furono effettuate da queste due superpotenze oltre 2000 detonazioni di bombe atomiche e più di 300 da Francia, Regno Unito e Cina.

Dopo circa 450 test in atmosfera e in mare, questa corsa portò inevitabilmente a un significativo aumento della contaminazione radioattiva del pianeta. Statunitensi, britannici e sovietici furono perciò indotti a stipulare nel 1963 un primo trattato sulla messa al bando parziale di questo tipo di esperimenti , il Limited Test Ban Treaty, che li impegnò a non fare più esperimenti di armi nucleari in atmosfera, nel mare e nello spazio.

Prove di guerra. Test di lancio per un missile Polaris, progettato per trasportare testate nucleari, da Cape Canaveral, in Florida. Questo vettore è stato ritirato a metà degli anni novanta.

Francia e Cina non seguirono immediatamente questa strada, continuando con qualche esplosione in atmosfera, rispettivamente fino al 1974 e al 1980. Poi tutti i test proseguirono nel sottosuolo dei vari poligoni, includendo tra i paesi che avevano sviluppato le loro bombe anche Israele, India, Pakistan e Corea del Nord.

Alla fine degli anni sessanta, quando Stati Uniti e Unione Sovietica avevano ormai riempito i propri arsenali atomici con decine di migliaia di testate, queste stesse nazioni spinsero per la stipula di un accordo internazionale in grado di frenare la proliferazione delle armi nucleari. Noto come Trattato di non proliferazione (TNP), l'accordo entrò in vigore nel 1970. Oggi vi aderiscono 189 paesi, tra cui l'Italia. Il trattato implica soprattutto il divieto alle nazioni «non nucleari» di procurarsi armamenti atomici e a quelle «nucleari» di fornire loro tecnologie per impieghi militari. In pratica, con questo trattato viene riconosciuta una supremazia da parte delle grandi potenze vincitrici della seconda guerra mondiale che hanno sviluppato per prime la tecnologia della bomba atomica (Stati Uniti, Russia, Regno Unito, Francia e Cina).

Gli arsenali atomici statunitensi e russi che erano rimasti fortunatamente inutilizzati divennero oggetto di trattative per una loro progressiva e bilaterale riduzione. Dietro la facciata di lodevole pacifismo, gli obiettivi erano indubbiamente anche il contenimento dei costi per mantenere operative decine di migliaia di testate atomiche di vario tipo, prima o poi da sostituire per motivi di obsolescenza e di degrado.

Le limitazioni agli armamenti

Anche se oggi Israele, India, Pakistan e Corea del Nord possono contare sulla tecnologia nucleare militare pur non aderendo al TNP, tra i successi della politica di contrasto alla diffusione delle armi nucleari va menzionata la restituzione di quelle ereditate dall'ex Unione Sovietica da parte di Ucraina, Kazakhstan e Bielorussia e la rinuncia ai programmi di sviluppo di Brasile, Argentina e Sudafrica. L'arsenale atomico mondiale, che aveva raggiunto un massimo di circa 70.000 ordigni nel 1986, si stima che oggi sia sceso a meno di 15.000 testate, di cui oltre 5000 in attesa di smantellamento (*si veda il box nella pagina a fronte*).

Negli anni novanta la paura di un conflitto tra il blocco occidentale e quello comunista, in grado di innescare una terza guerra mondiale si spense via via. L'attenzione del mondo si spostò su altre minacce: degrado dell'ambiente, esaurimento delle risorse o catastrofi naturali. Il terrore per la guerra atomica arretrò in secondo piano, seguendo lo stesso destino degli entusiasmi per le missioni spaziali che avevano caratterizzato i decenni precedenti.

I problemi aperti sono ancora tanti. Gli Stati non procedono tutti insieme e con la stessa velocità verso il progresso e la democrazia e l'armamento nucleare è ancora visto, purtroppo, come strumento d'ascesa al potere internazionale da parte di nazioni emergenti. Ciò che è cambiato con l'invenzione della bomba atomica è che anche un paese piccolo, nel relazionarsi con gli altri paesi, può essere indotto a dotarsi di armi nucleari anziché preferire lo sviluppo di normali rapporti diplomatici indirizzati a una politica di pace. A questo va aggiunto il rischio del terrorismo, che opera decisamente fuori dagli schemi tradizionali e potrebbe accedere a ordigni sfuggiti ai controlli dei singoli paesi nuclearizzati.

Flavio Parozzi è ingegnere nucleare, ha lavorato in programmi di ricerca nazionali, europei e statunitensi sulla sicurezza degli impianti nucleari sin dai primi anni ottanta.

Franco Polidoro è ingegnere nucleare, ricercatore impegnato da molti anni in programmi di ricerca internazionali nel campo della fisica dei reattori nucleari. Entrambi gli autori svolgono indagini documentaristiche e studi tramite l'associazione CISE2007 di Milano, che riunisce ricercatori e tecnici con lo scopo di promuovere la cultura scientifica e la sostenibilità in ambito energetico e ambientale.

Mentre nel luglio 2017 l'Assemblea generale delle Nazioni Unite ha ratificato il bando totale delle armi nucleari, il presidente statunitense Donald Trump ha manifestato l'intenzione di procedere in senso opposto, promuovendo una nuova pericolosa escalation nucleare che non sembra limitata alla questione nord-coreana e che potrebbe estendersi coinvolgendo altre grandi potenze. È un gioco d'azzardo molto pericoloso. Alla luce della situazione politica mondiale, il bando totale delle armi nucleari lanciato dalle Nazioni Unite appare come un miraggio, ma è auspicabile che le nazioni «nuclearmente mature» procedano con fermezza verso il ridimensionamento dei propri arsenali e continuino a scoraggiare l'acquisizione di armamenti del genere da parte dei paesi desiderosi di ritagliarsi il loro orticello di potere.

Un buon esempio dei percorsi fatti è stato dato dall'accordo Megatons to Megawatts tra Stati Uniti e Russia, con cui nel periodo 1993-2013 sono state convertite in combustibile per le centrali di generazione elettrica 20.000 testate nucleari, equivalenti a circa 500 tonnellate di uranio altamente arricchito. Un programma in cui anche l'Italia ha svolto un ruolo diplomatico grazie all'appoggio politico del Vaticano e al supporto tecnico e scientifico di militari, di tecnici dell'industria e della ricerca. La strada è sicuramente in salita, ma è l'unica realisticamente percorribile.

Gli esplosivi delle bombe

La realizzazione della prima bomba atomica avvenne nel contesto del secondo conflitto mondiale dopo la scoperta che con l'isotopo 235 dell'uranio o con altri isotopi artificiali come il plutonio-239 è possibile realizzare una velocissima reazione di disintegrazione

IN BREVE

Le centrali nucleari per la produzione di energia elettrica, sia quelle in funzione che quelle di futura generazione, usano la scissione di nuclei atomici pesanti. Il loro combustibile è dunque costituito da uranio e, in alcuni casi, anche da una certa quantità di plutonio.

Nelle centrali poste sotto il controllo internazionale, le precauzioni prese sulla gestione del combustibile impediscono o rendono molto difficili le applicazioni militari.

Questi impianti, concepiti solo per uso civile, ben si prestano alla distruzione degli esplosivi degli arsenali nucleari in disarmo, convertendoli in energia elettrica.

Nel caso del plutonio, che non può essere smaltito o confinato senza alcun rischio di un suo recupero a scopi bellici, i reattori sono una possibile via per la sua eliminazione.

Un mondo ancora pericoloso

Il numero esatto di armi nucleari in mano a ciascuna nazione è di norma tenuto segreto. Mettendo insieme le informazioni pubblicamente disponibili, i dati storici e le informazioni raccolte occasionalmente, la Federation of American Scientists (FAS) degli Stati Uniti ha tuttavia formulato una stima degli arsenali atomici mondiali a fine 2017.
Nonostante i progressi nel ridurre gli arsenali nucleari della guerra fredda, l'inventario mondiale di testate nucleari rimane a un livello molto alto. Circa 4000 testate sono schierate con forze operative, pronte per l'uso. Stati Uniti, Russia e Regno Unito stanno riducendo gli inventari delle testate, sebbene il ritmo di riduzione stia rallentando rispetto agli ultimi 25 anni. Francia e Israele hanno scorte relativamente stabili, mentre Cina, Pakistan, India e Corea del Nord stanno aumentando i rispettivi arsenali atomici. In generale, tutti gli Stati che hanno armamenti atomici continuano a modernizzare le loro forze nucleari e sembrano impegnati a conservarle per un futuro indefinito.
È inoltre da notare che le riserve di uranio altamente arricchito (o HEU, da *Highly Enriched Uranium*), ovvero con percentuali elevate (tra 20 e 80 per cento) dell'isotopo uranio-235 che può generare la reazione di fissione nucleare, e di plutonio disponibili nelle riserve delle varie forze armate sono molto maggiori dei quantitativi attualmente impegnati nelle bombe, e permetterebbero un rilancio della corsa agli armamenti. Si calcola infatti che le attuali riserve militari di uranio altamente arricchito e di plutonio militare sarebbero sufficienti per realizzare 100.000 nuove testate nucleari.

Nazione	Testate impegnate su missili e bombardieri	Testate a disposizione e riserva	Testate dismesse da smantellare	Testate totali	Riserve di HEU militare (tonnellate)	Riserve di plutonio militare (tonnellate)
Stati Uniti	1800	2200	2600	6600	317	92
Russia	1710	2590	2500	6800	616	128
Francia	280	20	?	300	26	6
Regno Unito	120	95	?	215	11,7	3,2
Israele	?	80	?	80	0,3	0,86
Cina	?	270	?	270	16	1,8
Pakistan	?	140	?	140	3,1	0,19
India	?	130	?	130	3,2	5
Corea del Nord	?	10-20	?	10-20	?	0,03
	≈4000	≈5500	≈5100	≈14.550	≈1000	≈250

dei nuclei in grado di autosostenersi e di liberare un'enorme quantità di energia. (I nuclei sono composti da protoni e neutroni; il numero di protoni definisce l'elemento chimico, e uno stesso elemento può avere versioni diverse tra loro caratterizzate da numeri differenti di neutroni e chiamate isotopi). Questa reazione è chiamata «fissione a catena» e l'isotopo 235 dell'uranio è l'unico disponibile in natura in grado di realizzarla, se posto in opportuna concentrazione e configurazione (*si veda il box a p. 34*).

La reazione non è di per sé esplosiva, e fu sperimentata per la prima volta nel 1942 a Chicago dal fisico italiano Enrico Fermi con un'apposita pila. Non molto tempo fa è stato anche scoperto che un reattore nucleare funzionante in modo naturale ebbe una sua vita autonoma circa 1,7 miliardi di anni fa in un giacimento di uranio nel Gabon, in Africa. Si è stimato che il reattore naturale funzionò per alcune centinaia di migliaia di anni con una potenza di circa 15 gigawatt termici: la potenza di una centrale nucleare equipaggiata con quattro grandi reattori di attuale generazione.

Nelle centrali nucleari destinate alla generazione elettrica, a seconda delle tipologie di impianto adottate, la reazione a catena può funzionare anche con uranio naturale, in cui l'isotopo fissile 235 è solo lo 0,72 per cento. Grazie al calore prodotto dalla reazione di fissione, nelle centrali nucleari è generato vapore per azionare una turbina, proprio come avviene nelle centrali convenzionali. Per motivi di carattere ingegneristico, nella maggior parte delle centrali elettriche l'uranio è arricchito nell'isotopo 235 in concentrazioni di qualche punto percentuale. Per la realizzazione di ordigni esplosivi, invece, è necessaria una reazione a catena in cui il materiale fissile deve reagire tutto insieme quasi istantaneamente e senza controllo, come succede negli ordigni convenzionali, ma con una potenza che, a parità di massa coinvolta, è milioni di volte quella degli esplosivi chimici (*si veda il box a p. 34*). Per questo è necessario impiegare uranio-235 quasi puro. Il processo per ottenerlo, denominato «arricchimento isotopico», è complicato e costoso, e solo alcune nazioni dispongono della tecnologia necessaria: ovviamente quelle già in possesso di armi nucleari e quelle che si teme possano acquisirle.

La reazione a catena è realizzabile anche con isotopi artificiali producibili con reattori nucleari appositamente progettati e gestiti, come nel caso del plutonio, anch'esso adatto alla fabbricazione di bombe (*si veda il box a p. 35*). Le bombe all'idrogeno, ancora più potenti, rappresentano poi un ulteriore passo: si basano sulla fusione di nuclei atomici leggeri, come appunto gli isotopi dell'idrogeno, innescata dall'altissima temperatura prodotta da una bomba a fissione.

Fonte riciclata

Lo smaltimento dell'uranio altamente arricchito in isotopo 235 proveniente dalla dismissione delle testate nucleari è una strada già percorsa con successo: questo isotopo fissile naturale può infatti essere diluito con uranio naturale o a basso arricchimento,

TASS/Getty Images

Spezzare atomi per ricavarne energia

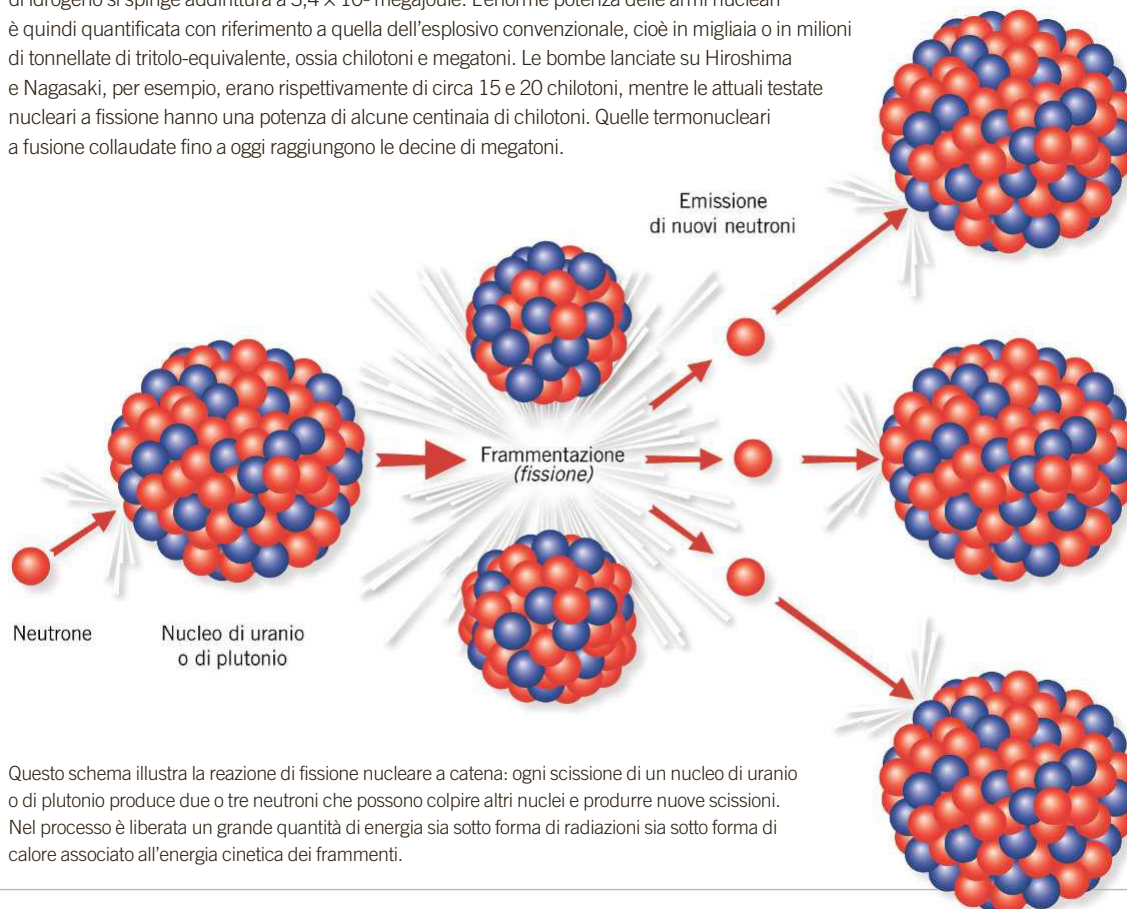
La potenza degli esplosivi nucleari, se paragonata a quella degli esplosivi chimici, chiarisce il motivo dell'interesse militare: l'esplosione di un chilogrammo di tritolo sprigiona 4,18 megajoule di energia, quella ottenibile con un chilogrammo di uranio o di plutonio (*illustrazione*) può liberare $8{,}3 \times 10^7$ megajoule. La fusione nucleare di un chilogrammo di idrogeno si spinge addirittura a $3{,}4 \times 10^8$ megajoule. L'enorme potenza delle armi nucleari è quindi quantificata con riferimento a quella dell'esplosivo convenzionale, cioè in migliaia o in milioni di tonnellate di tritolo-equivalente, ossia chilotoni e megatoni. Le bombe lanciate su Hiroshima e Nagasaki, per esempio, erano rispettivamente di circa 15 e 20 chilotoni, mentre le attuali testate nucleari a fissione hanno una potenza di alcune centinaia di chilotoni. Quelle termonucleari a fusione collaudate fino a oggi raggiungono le decine di megatoni.

Questo schema illustra la reazione di fissione nucleare a catena: ogni scissione di un nucleo di uranio o di plutonio produce due o tre neutroni che possono colpire altri nuclei e produrre nuove scissioni. Nel processo è liberata un grande quantità di energia sia sotto forma di radiazioni sia sotto forma di calore associato all'energia cinetica dei frammenti.

Illustrazione di Danilo Sossi

fabbricando così combustibile adatto alle centrali elettriche. L'uranio così diluito non può essere direttamente usato per nuove bombe se non mediante il processo di arricchimento isotopico, ripartendo quindi da zero.

A oggi i reattori nucleari funzionanti nel mondo sono 450, per una potenza elettrica complessiva che sfiora i 400 gigawatt e una conseguente produzione di energia elettrica di circa 2500 terawattora all'anno. Altri 54 reattori di grande potenza sono in costruzione, per ulteriori 56 gigawatt. Poiché questi livelli di produzione energetica richiedono un consumo mondiale di uranio-235 che supera le 400 tonnellate annue, la graduale diluizione delle centinaia di tonnellate di questo isotopo proveniente dalle ex-bombe appare confrontabile con questi consumi.

A titolo di esempio, una proposta elaborata dagli stessi autori di questo articolo è stata presentata al seminario *Progetto di pacificazione dell'area coreana* tenutosi nell'ottobre 2017 presso il Sacro Convento di San Francesco ad Assisi. In quella occasione è stata resa pubblica una stima dell'energia elettrica ricavabile dalla distruzione di un lotto-campione di 4000 testate in disarmo, che potrebbe essere oggetto di un nuovo trattato internazionale. L'analisi ha assunto che fra 20 e 25 chilogrammi di uranio arricchito al 90-93 per cento nell'isotopo 235 siano disponibili per ogni testata del lotto (recuperando così, in totale, tra 70 e 90 tonnellate di uranio-235).

Lo studio ha considerato tre possibili casi di diluizione dell'uranio delle testate: con uranio naturale (in cui l'isotopo 235 è lo 0,72 per cento), con uranio residuo del processo di arricchimento (0,2 per cento di uranio-235), e con uranio recuperato dal combustibile «usato» (1,2 per cento di uranio-235). I quantitativi in gioco permetterebbero la fabbricazione di combustibile adatto a centrali attuali, dando in cambio un quantitativo di energia elettrica che potrebbe raggiungere i 900 terawattora, circa il triplo dei consumi italiani in un anno.

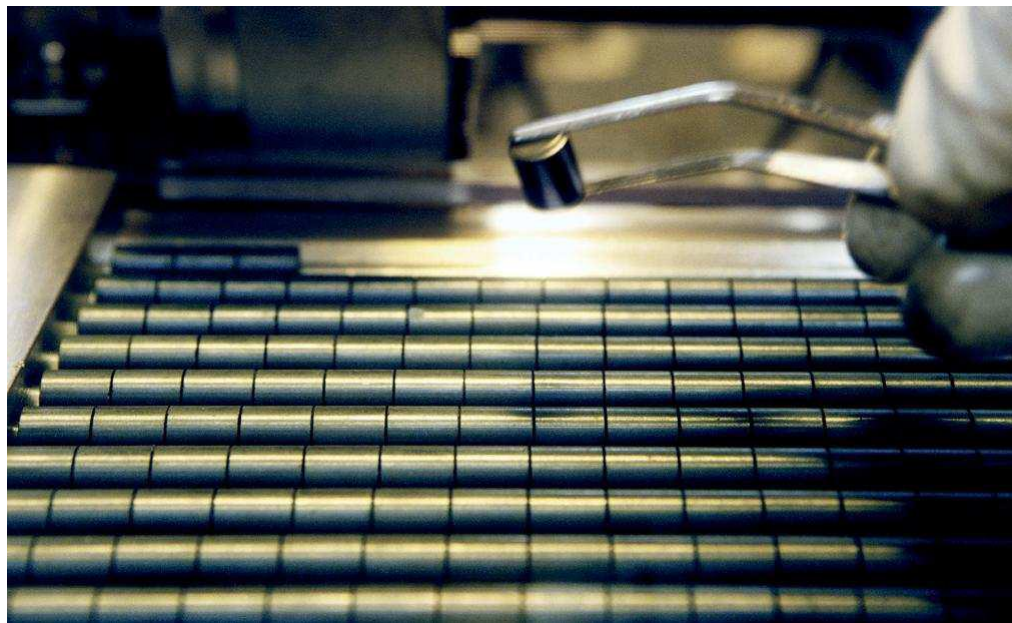
Un primo accordo

I paesi maggiormente interessati al trattamento del plutonio militare, visti i loro enormi arsenali nucleari, sono Stati Uniti e Russia, e in misura ridotta Regno Unito, Cina e Francia. Nell'ipotesi di un disarmo significativo, qualche centinaio di tonnellate di plutonio *weapon-grade* (di qualità adatta all'uso militare) si renderebbero disponibili nel mondo, pur con le incertezze riguardo a questo tipo di informazioni spesso coperte da segreto militare.

Tutti i gradi del plutonio

La realizzazione di una testata richiede l'impiego di una ventina di chilogrammi di uranio-235 oppure di pochi chilogrammi di plutonio-239. Questi, pressoché puri, sono classificati come *weapon-grade* (di qualità adatta per un'arma). Mentre l'uranio-235 può essere separato dall'uranio naturale (arricchimento), il plutonio non esiste in natura e deve essere prodotto nei reattori nucleari partendo dall'uranio-238.

A questo scopo, per ottenere una produzione efficace di plutonio weapon-grade, il combustibile nel reattore deve essere irraggiato per un breve periodo di tempo, di norma pochi mesi (contro una permanenza media nei reattori nucleari di 2-3 anni). In questo modo si evita che, oltre al plutonio-239, il combustibile nucleare si arricchisca di altri isotopi del plutonio con numero di massa più elevato. L'isotopo plutonio-240, in particolare, essendo un forte emettitore di neutroni, degrada le proprietà del plutonio a fini bellici e, una volta accumulato nel combustibile, risulta difficilmente separabile dal plutonio-239.

In base alla percentuale di plutonio-240 presente, il plutonio è classificato in: weapon-grade se contiene meno del 7 per cento di plutonio-240, *fuel-grade* se ne contiene dal 7 per cento al 19 per cento e *reactor-grade* se il contenuto è superiore al 19 per cento. L'Agenzia internazionale per l'energia atomica (IAEA), cautelativamente, considera tutte le miscele di plutonio potenzialmente utili al fine della realizzazione di ordigni nucleari.

Con uranio impoverito. Il plutonio proveniente dal riprocessamento del combustibile nucleare esausto e l'uranio impoverito, ossia con una concentrazione di uranio-235 inferiore allo 0,72 per cento, miscelati insieme costituiscono il cosiddetto combustibile MOX, che può essere impiegato in reattori ad acqua leggera.

Patrick Landmann/Science Photo Library/AGF

Ma veniamo ai fatti. Nel 2000, nell'ambito degli accordi per la riduzione delle armi nucleari, Stati Uniti e Russia siglavano il *Plutonium Management and Disposition Agreement* (PMDA) con cui si accordavano per smaltire 34 tonnellate di plutonio weapon-grade ognuno entro il 2014. Gli Stati Uniti si impegnavano ad autofinanziare un programma per lo stoccaggio del plutonio come scoria e la produzione di combustibile MOX, cioè Mixed OXide, (costituito da uranio impoverito, ossia con una concentrazione di uranio-235 inferiore allo 0,72 per cento, e da plutonio proveniente dal riprocessamento del combustibile nucleare esausto) da destinare ai reattori nucleari ad acqua leggera (LWR). Analogamente la Russia, con il supporto economico dei paesi del G-7, si impegnava a trattare il proprio plutonio di provenienza militare per produrre combustibile MOX da impiegare all'inizio nella propria flotta di reattori nucleari (LWR).

In seguito, un emendamento del 2011 agli accordi del 2000 ratificava per la Russia l'uso del plutonio militare nei suoi reattori veloci BN-600 e BN-800 (che impiegano neutroni ad alta energia per la fissione), visti gli alti costi che l'impiego del MOX avrebbe comportato in quanto non coerente con il ciclo del combustibile adottato dai russi. Per entrambi i paesi era anche specificato l'obiettivo di smaltimento di 1,3 tonnellate all'anno a partire dal 2018. Tuttavia, mentre l'impianto russo di produzione del combustibile MOX venne completato, il programma statunitense fu oggetto di ritardi e forti ripensamenti. Nel 2016 questo fece recedere unilateralmente la Russia dall'accordo, anche a seguito della crisi nei rapporti internazionali fra Russia e comunità internazionale, sfociati nell'applicazione di sanzioni commerciali.

Oltre ai grossi quantitativi di Stati Uniti e Russia, si stima che Regno Unito e Francia posseggano a tutt'oggi quasi 10 tonnellate di plutonio militare, alle quali si aggiungono quasi due tonnellate della Cina e alcune tonnellate fra India, Israele, Pakistan e Corea del Nord.

Le opzioni attuali e quelle future

È difficile confrontare le diverse opzioni tecnologiche per il trattamento del plutonio proveniente dallo smantellamento delle testate nucleari. Se per alcuni ci si dovrebbe limitare a renderlo inutilizzabile a fini militari, per altri il materiale fissile delle testate costituisce di fatto un «bene materiale» del paese, quindi la ricerca deve cercare di ottenere i massimi benefici sfruttandolo come

In costruzione. A Flamanville, nel nordovest della Francia, è in fase di completamento il nuovo reattore EPR (European Pressurised Water), costruito da Areva. Il reattore è stato progettato per impiegare, se richiesto, solo combustibile MOX, e sarà gestito dall'azienda francese EDF.

Charly Triballeau/Stringer/Getty Images

combustibile nei reattori nucleari. Queste opposte visioni determinano differenti approcci al problema.

Nella prima via, quella dello stoccaggio, il plutonio verrebbe prima diluito con un materiale inerte, denominato *stardust*, che ne renderebbe molto difficile la separazione e la cui composizione chimica è segreta. Verrebbero così preparate miscele con concentrazioni di plutonio inferiori al 10 per cento da confinare in depositi geologici. Con questa soluzione, pur risultando difficile da riestrarre dalla matrice, il plutonio manterrebbe però intatta la propria composizione isotopica.

Alcuni esperti hanno quindi proposto di ovviare al problema miscelando plutonio weapon-grade con plutonio *reactor-grade* di provenienza civile, che ha un'elevata percentuale di plutonio-240, un isotopo fastidioso per possibili impieghi bellici (*si veda il box a p. 35*), con il vantaggio di modificare la composizione isotopica di questo elemento senza ricorrere a reazioni nucleari con un reattore. La sostenibilità di questa strategia è però messa in discussione osservando che l'isotopo 240, così come tutti gli isotopi fortemente radioattivi, ha un decadimento più rapido del plutonio-239 e, se si deve ragionare su scale temporali di qualche decina di migliaia di anni, il plutonio-240 sparirebbe, permettendo di recuperare ancora l'indesiderato plutonio-239.

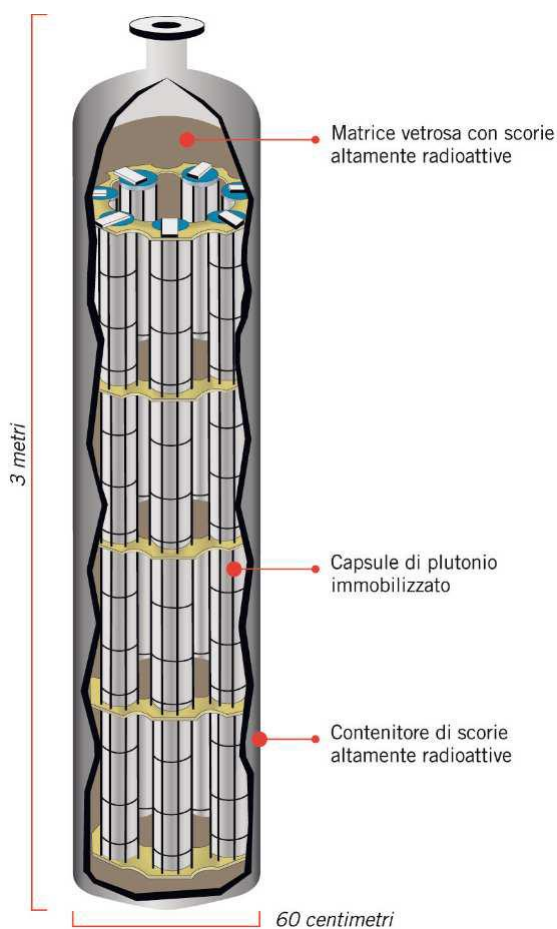
Sempre con l'obiettivo dello stoccaggio in depositi geologici per un tempo indefinito, il plutonio potrebbe essere mescolato con scorie ad alta radioattività, in una forma che renda impraticabile la sua estrazione e un nuovo uso come materiale bellico. A questo proposito, all'inizio degli anni duemila il Department of Energy (DOE) statunitense ha studiato un sistema di trattamento del plutonio weapon-grade denominato Can-in-Canister (CIC), che prevede l'immobilizzazione del plutonio mediante il suo incapsulamento in dischi ceramici o di matrice vetrosa. I dischi verrebbero collocati in speciali contenitori (*can*), a loro volta disposti su una struttura metallica (*canister*); a questi verrebbero aggiunti elementi vetrificati contenenti scorie radioattive ad alta attività, in modo da costituire un deterrente alla sottrazione indebita di plutonio (*si veda l'illustrazione nella pagina a fronte*).

Puntando invece alla distruzione definitiva del plutonio delle bombe, questa deve necessariamente avvenire provocandone la fissione mediante reattori nucleari. A questo scopo, la produzione di combustibile MOX dal plutonio weapon-grade impone la riduzione della concentrazione di plutonio-239 dal 93 al 5 per cento mediante diluizione con uranio impoverito. Nel MOX, il plutonio-239 ha in pratica il compito di sostituire l'uranio-235 nella funzione di «frazione fissile» del combustibile.

Proprio per questo, nel 2007 gli Stati Uniti, nell'ambito dell'accordo PMDA con la Russia, avevano iniziato a costruire un impianto a Savannah River, in South Carolina, per convertire 3,5 tonnellate all'anno di plutonio weapon-grade. L'impianto sarebbe dovuto diventare operativo nel 2016, data poi posticipata al 2019. Ma problemi tecnici, ripensamenti del DOE sulla strategia di trattamento del plutonio, insieme agli alti costi del processo, cresciuti negli anni per l'adozione di misure di contrasto al rischio di proliferazione, hanno di fatto messo in discussione il progetto.

Diversamente, Europa, Russia e Giappone hanno sviluppato una buona esperienza nell'uso del combustibile MOX proprio per chiudere il ciclo del ritrattamento del combustibile esausto. Si pensi che 40 reattori nucleari in Europa hanno ottenuto l'autorizzazione a impiegare combustibile MOX. In particolare, a 30 reattori nucleari francesi è permesso inserire nel reattore fino al 30 per cento di MOX, mentre il nuovo reattore EPR di AREVA è progettato per impiegare, se richiesto, solo combustibile MOX. Attualmente, in Francia circa il 10 per cento dell'elettricità è prodotta impiegando combustibile MOX in 24 centrali nucleari.

Tuttavia bisogna tenere presente che l'impiego del MOX nei reattori tradizionali a neutroni lenti fornisce un tasso di riduzione del plutonio piuttosto modesto. Questo perché più del 90 per

Can-in-Canister. Questa tecnologia prevede che 28 contenitori (*can*), ognuno contenente un chilogrammo di plutonio weapon-grade in matrice ceramica o vetrosa, siano disposti in un contenitore più grande (*canister*). I contenitori verrebbero poi circondati da altri contenitori contenenti scorie radioattive ad alta attività sotto forma di matrice vetrosa.

cento del combustibile in questi reattori è costituito da uranio-238 che, catturando i neutroni, produce nuovo plutonio.

Molta ricerca si sta orientando verso lo sviluppo di nuovi combustibili che permettano di chiudere il ciclo, bruciando il plutonio più efficacemente.

Oltre alla conversione del plutonio militare in combustibile MOX per le centrali, per esempio, l'Istituto Kurchatov di Mosca, con il sostegno del governo degli Stati Uniti, ha portato avanti un programma per l'uso nei propri reattori VVER (versione russa degli LWR) di un combustibile a ossidi misti plutonio-torio. Questo tipo di combustibile usa l'isotopo torio-232 al posto dell'uranio-238, e presenta alcuni vantaggi rispetto al MOX: è capace di bruciare più efficacemente il plutonio e permette di impiegare un quantitativo maggiore di plutonio nel reattore rispetto al MOX. L'uso del torio al posto dell'uranio-238 sembrerebbe offrire anche una maggiore resistenza alla proliferazione perché la generazione dell'isotopo fissile uranio-233, dovuto alla cattura di un neutrone da parte del torio-232, produce anche piccole quantità uranio-232; la catena di decadimento radioattivo di questo isotopo comporta forti emissioni di radiazione gamma, così penetranti da scoraggiare l'eventuale recupero del plutonio.

In futuro la distruzione del plutonio militare potrebbe interessare anche le tecnologie della cosiddetta «IV Generazione», che in buona parte punta sui reattori a neutroni veloci sia per poter produrre proprio plutonio sia per bruciare le scorie a vita lunga.

Per quanto riguarda il plutonio, questa strada potrebbe apparire come un percorso in senso opposto. Ma, dal punto di vista dello sfruttamento della fonte nucleare per tempi molto lunghi, il plutonio rappresenterebbe non un rifiuto scomodo bensì una risorsa. L'efficienza dello sfruttamento dell'uranio permessa dai reattori veloci di IV Generazione si basa sulla trasformazione (trasmutazione) dell'uranio-238, poco coinvolto nella fissione, in plutonio-239.

Questo plutonio non è utilizzabile a fini militari, e potrebbe essere sfruttato per diluire il plutonio weapon-grade proveniente dallo smantellamento delle testate, trasformandolo in combustibile. Riguardo l'eliminazione delle scorie, il flusso di neutroni elevato tipico dei reattori veloci si presterebbe bene anche per la distruzione delle scorie radioattive che hanno maggiore impatto, riducendone il volume e il tempo di stoccaggio nei depositi.

Scenari e prospettive per il nucleare da fissione

L'entrata in commercio degli impianti a fusione nucleare è rimandata ad almeno la seconda metà di questo secolo e con costi attualmente indefinibili; il ricorso agli impianti a fissione è quindi una realtà mondiale.

Non ci si può girare dall'altra parte o sognare scenari lontani dalla concretezza. È richiesta molta attenzione da parte dell'ingegneria e della ricerca nell'affrontare il problema della sicurezza di questi impianti e della produzione delle scorie. Da questo punto di vista, l'impiego dell'energia da fissione può svolgere un ruolo determinante nell'eliminazione del plutonio proveniente dallo smantellamento delle testate nucleari nonché degli isotopi radiotossici a lunga vita prodotti nel processo di fissione.

Una compagnia elettrica che oggi decidesse di diversificare il proprio parco di impianti per la generazione di elettricità ricorrendo anche alla fonte nucleare non troverebbe alcun modello di reattore veloce di IV Generazione nel catalogo dei costruttori. I primi prototipi dimostrativi sono attesi nel giro di un decennio, mentre l'entrata in commercio dei primi esemplari da collegare a una rete elettrica può essere proiettata verso il 2030, a condizione che siano raggiunti livelli di economicità, sicurezza e sostenibilità paragonabili a quelli degli attuali reattori a neutroni lenti.

Non ci sarà da stupirsi se le migliori soluzioni per affrontare i problemi di cui si è parlato in questo articolo saranno quelli raggiunti dalle nazioni e dalle industrie che continueranno a investire sia nella realizzazione del nucleare di oggi sia nella ricerca di quello di domani. ■

PER APPROFONDIRE

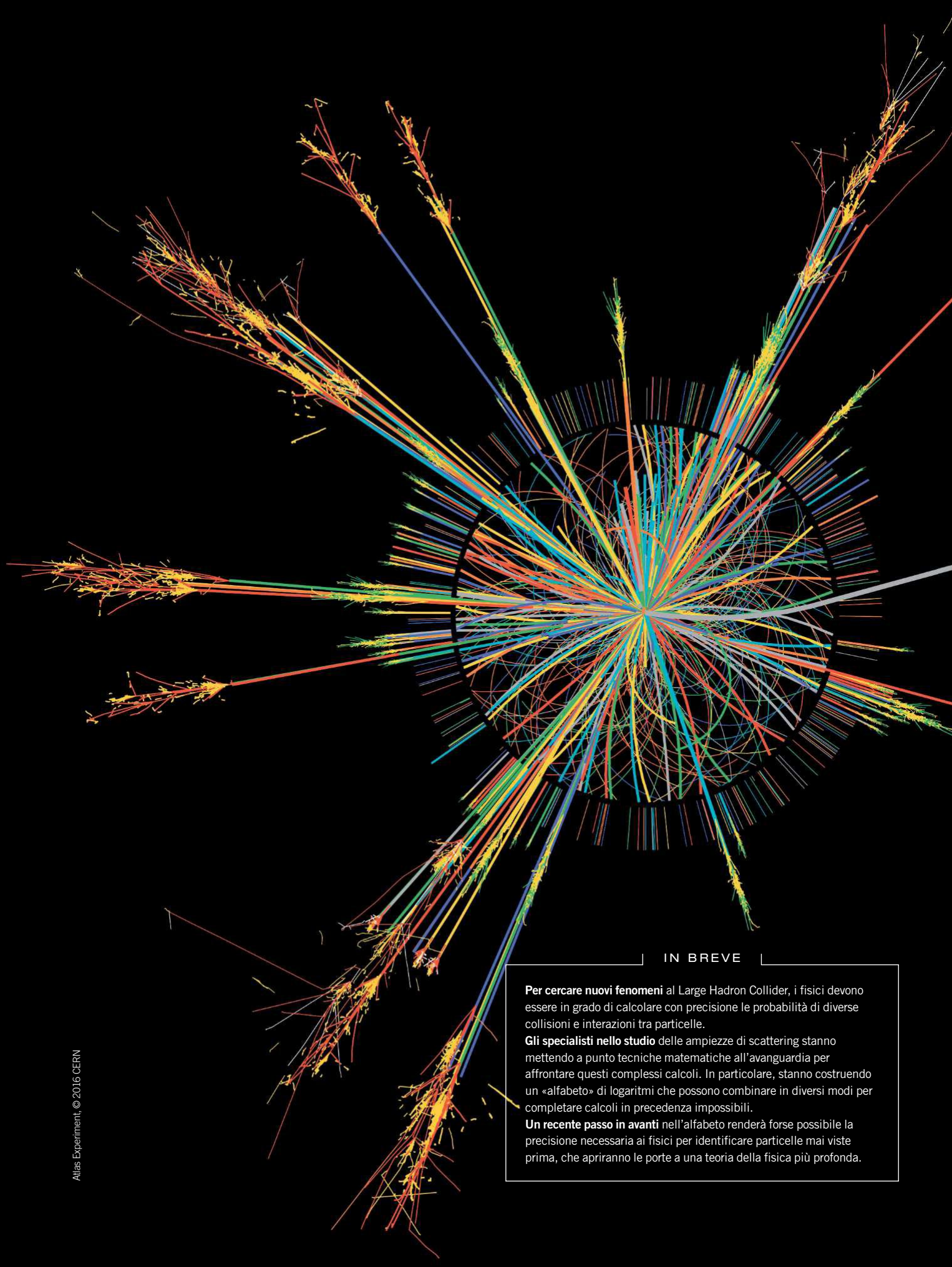
Status of World Nuclear Forces. Kristensen H.M. e Norris R.S., Federation of American Scientists, 2017. **https://fas.org/issues/nuclear-weapons/status-world-nuclear-forces.**

Combustibile ricavabile da testate nucleari in disarmo. Parozzi F., Polidoro F., memoria presentata al seminario *Progetto di pacificazione dell'Area Coreana*, organizzato da Civiltà dell'Amore presso il Sacro Convento di San Francesco, Assisi, 28 ottobre 2017.

The Database on Nuclear Power Reactors. International Atomic Energy Agency. 2018. **https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx.**

Il sito web dell'International Panel on Fissile Materials: **http://fissilematerials.org.**

Settant'anni con la bomba. Parozzi F. e Polidoro F., in «Le Scienze» n. 563, luglio 2015.

Illustrazione di Danilo Sossi; fonte U.S. Department of Energy

IN BREVE

Per cercare nuovi fenomeni al Large Hadron Collider, i fisici devono essere in grado di calcolare con precisione le probabilità di diverse collisioni e interazioni tra particelle.

Gli specialisti nello studio delle ampiezze di scattering stanno mettendo a punto tecniche matematiche all'avanguardia per affrontare questi complessi calcoli. In particolare, stanno costruendo un «alfabeto» di logaritmi che possono combinare in diversi modi per completare calcoli in precedenza impossibili.

Un recente passo in avanti nell'alfabeto renderà forse possibile la precisione necessaria ai fisici per identificare particelle mai viste prima, che apriranno le porte a una teoria della fisica più profonda.

MATEMATICA

Gli scienziati stanno mettendo a punto concetti matematici per identificare nuove particelle e fenomeni nel più grande acceleratore del mondo

di Matthew von Hippel

Il codice delle particelle

Il Large Hadron Collider (LHC) è la macchina più grande mai costruita dall'uomo. Unendo le risorse di più di 100 paesi, accelera protoni a velocità prossima a quella della luce (appena un centomilionesimo più bassa). Quando collidono, i protoni si decompongono nelle parti che li costituiscono (quark e gluoni, le particelle che tengono insieme i quark) e producono particelle che prima non c'erano. È così che nel 2012 LHC ha ottenuto la prima rilevazione di un bosone di Higgs, l'ultima particella mancante prevista dal modello standard della fisica delle particelle. Ora i fisici sperano che LHC scopra qualcosa di veramente nuovo: particelle che non siano già presenti nella teoria attuale e che per esempio possano spiegare il mistero della materia oscura oppure offrire soluzioni ad altre domande ricorrenti.

Per una scoperta simile, gli scienziati devono analizzare i 30 petabyte all'anno di dati prodotti dalla macchina, per identificare le minuscole deviazioni dove i risultati non corrispondono del tutto al modello standard. Ovviamente tutto questo lavoro sarà inutile se non sappiamo che cosa prevede il modello standard.

E qui entro in gioco io. Le domande che vogliamo porci riguardo a LHC si presentano sotto forma di probabilità: «Che probabilità c'è che due protoni rimbalzino l'uno contro l'altro?», «Con che frequenza produrremo un Higgs?». Queste probabilità sono calcolate mediante «ampiezze di *scattering*», o di diffusione, formule che ci dicono quanto è probabile che le particelle subiscano uno scattering (essenzialmente: un rimbalzo) di un certo tipo. Faccio parte di un gruppo di fisici e matematici che lavorano per accelerare questi calcoli e trovare trucchi migliori dei vecchi metodi pesanti tramandati dai nostri predecessori.

Noi specialisti delle ampiezze, un campo chiamato *amplitudeology* con un neologismo inglese, facciamo risalire la nostra disciplina alle ricerche di due fisici, Stephen Parke e Tomasz Taylor. Nel 1986 trovarono una formula che descriveva le collisioni tra un numero qualsiasi di gluoni, semplificando quelle che normalmente sarebbero pagine di attenti calcoli caso per caso. Il settore è decollato a partire dagli anni novanta, quando nuovi metodi hanno promesso di semplificare una vasta gamma di calcoli di fisica delle particelle. Oggi lo studio delle ampiezze è in forte espansione: la conferenza Amplitudes 2018 ha avuto 160 partecipanti e la scuola estiva tenuta la settimana precedente, con lo scopo di formare giovani ricercatori sui trucchi di questa disciplina, ne ha avuti 100. Abbiamo anche attirato l'attenzione del pubblico: nel 2013 i media hanno parlato dell'«ampiezzoedro» dei fisici Nima Arkani-Hamed e Jaroslav Trnka (un modo per descrivere certe ampiezze nel linguaggio della geometria), e il personaggio di Sheldon Cooper nella serie televisiva *The Big Bang Theory* si diletta della materia.

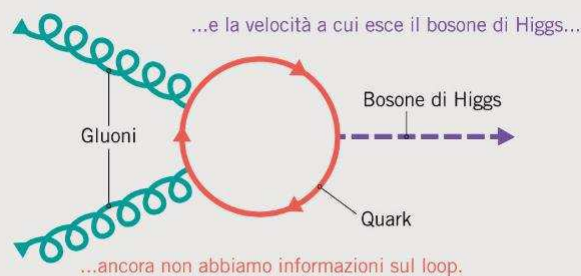
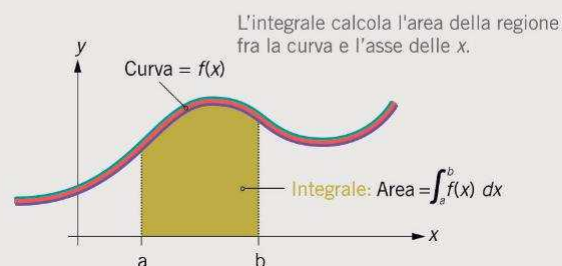
Ultimamente abbiamo fatto un grande passo in avanti, andando dagli strumenti di base che abbiamo già sviluppato a tecniche più complesse. Stiamo entrando in un ambito di calcoli tanto sensibili da tenere il passo con la crescente precisione di LHC. Con questi nuovi strumenti siamo pronti a rilevare anche minuscole differenze tra le previsioni del modello standard e ciò che accade all'interno di LHC, il che potenzialmente ci consentirà di rivelare le particelle nascoste sognate dai fisici.

Loop e linee

Per organizzare i nostri calcoli usiamo da tempo il metodo grafico dei diagrammi di Feynman. Inventate dal fisico Richard Feynman nel 1948, queste figure descrivono percorsi lungo i quali viaggiano le particelle. Supponiamo di voler calcolare la probabilità che due gluoni interagiscano e formino un bosone di Higgs. Iniziamo tracciando le linee che rappresentano le particelle che conosciamo: due gluoni che entrano e un Higgs che esce. Adesso dobbiamo collegare queste linee disegnando all'interno del diagramma altre linee corrispondenti a particelle, secondo le regole del modello standard. Queste particelle aggiuntive possono essere «virtuali»: cioè, non sono letteralmente particelle allo stesso modo in cui, nel nostro esempio, lo sono i gluoni e il bosone di Higgs. Sono invece una convenzione, un modo per tenere conto di come possono interagire diversi campi quantistici.

I diagrammi di Feynman non sono solo belle immagini: sono istruzioni che dicono come usare le informazioni sulle particelle che disegniamo per calcolare una probabilità. Se conosciamo velocità ed energia dei gluoni e del bosone di Higgs del diagramma,

Matthew von Hippel ha una posizione post-doc alla Niels Bohr International Academy a Copenhagen. Lavora sulle ampiezze da quando, da dottorando, è finito per caso nell'ufficio del suo relatore, alla ricerca di un progetto per l'estate. Svolge anche attività di divulgazione scientifica dopo essere rimasto coinvolto in una discussione con l'*editor* scientifico di «Ars Technica» sulla definizione di «teoria». Il suo blog è 4gravitons.wordpress.com.

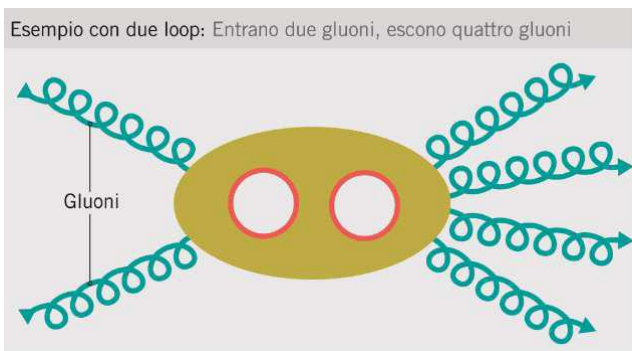
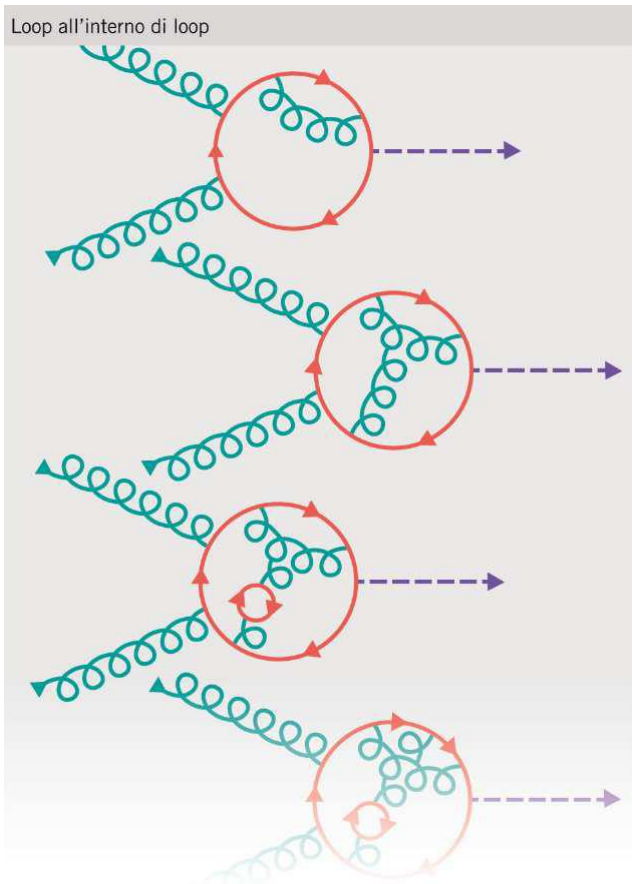
Diagramma di Feynman: Entrano due gluoni, esce un bosone di Higgs

Integrale: L'area compresa sotto il grafico di una funzione

possiamo provare a determinare le proprietà delle particelle virtuali intermedie. A volte però la risposta è incerta: se seguiamo i percorsi delle particelle, possiamo trovarci in un *loop*, un percorso chiuso che torna al punto in cui inizia. Una particella che percorre un loop simile non è né *input* né *output*: le sue proprietà non vengono mai misurate. Non sappiamo a che velocità vada o quanta energia abbia. Sebbene controintuitiva, è una conseguenza dell'indeterminazione fondamentale della meccanica quantistica,

In linea di principio, per calcolare un'ampiezza di scattering dobbiamo disegnare ogni diagramma che abbia la possibilità di collegare le nostre particelle, ogni modo cioè in cui gli ingredienti di partenza possano trasformarsi nei prodotti finali. Si tratta di un bel po' di diagrammi, anzi, di un numero infinito: potremmo continuare a disegnare loop all'interno di loop all'infinito, il che ci richiederebbe di calcolare integrali sempre più complicati.

In pratica ci salva l'intensità lievissima della maggior parte del-

Illustrazioni di Jen Christiansen

Loop all'interno di loop

Esempio con due loop: Entrano due gluoni, escono quattro gluoni

le forze quantistiche. Quando in un diagramma si uniscono alcune linee, ciò corrisponde a un'«interazione» tra diversi tipi di particelle. Ogni volta che questo accade dobbiamo moltiplicare per una costante che ha a che fare con l'intensità della forza che fa interagire le particelle. Se vogliamo disegnare un diagramma con più loop, dobbiamo collegare più linee e moltiplicare più volte per queste costanti. Per elettricità e magnetismo le costanti in gioco sono piccole: per ogni ciclo che aggiungiamo dividiamo circa per 137, e quindi i diagrammi con un numero sempre maggiore di loop costituiscono una parte sempre più ridotta del risultato finale, finché è così piccola che diventa impossibile rilevarla sperimentalmente. I migliori esperimenti su elettricità e magnetismo raggiungono addirittura la precisione di dieci cifre decimali, e sono quindi fra le misurazioni più precise in tutta la scienza. Arrivare a questo livello richiede «solo» quattro loop, cioè quattro fattori pari a 1/137 prima che il numero che si sta calcolando sia troppo piccolo per essere misurato. In molti casi questi numeri sono stati calcolati e tutti e dieci i decimali concordano con gli esperimenti.

L'interazione nucleare forte è un osso più duro; è la forza che unisce protoni e neutroni, nonché i quark al loro interno. È più forte di elettricità e magnetismo: per i calcoli relativi a LHC, per ogni loop dobbiamo dividere non per 137, ma per 10. Quindi per ottenere una precisione di 10 cifre dobbiamo tracciare 10 loop.

LHC non è preciso quanto gli esperimenti con elettricità e magnetismo. Al momento le misurazioni ottenute da questa macchina iniziano appena a corrispondere alla precisione dei calcoli con due loop, ma i risultati sono già abbastanza problematici. Per esempio, un calcolo con due loop svolto nel 2010 dai fisici Vittorio Del Duca, Claude Duhr e Vladimir Smirnov ha ottenuto la probabilità che due gluoni collidano ed escano quattro gluoni. Hanno svolto i calcoli usando una teoria semplificata, con alcune scorciatoie *ad hoc*, eppure la formula risultante arrivava a 17 pagine di complicati integrali. Questa lunghezza non è sorprendente; tutti sapevano che i calcoli a due loop erano difficili.

Ma appena pochi mesi dopo un altro gruppo è riuscito a scrivere lo stesso risultato in due righe; era una collaborazione fra tre fisici – Marcus Spradlin, Cristian Vergu e Anastasia Volovich – e un matematico, Alexander B. Goncharov. Il trucco che hanno usato era straordinariamente potente e ci ha mostrato una parte della matematica che molti di noi non avevano mai visto prima, e che mi sta accompagnando per tutta la carriera.

Periodi e logaritmi

Se mostrate a un matematico come Goncharov uno degli integrali che otteniamo dai diagrammi di Feynman, la prima cosa che vi dirà è: «Questo è un periodo».

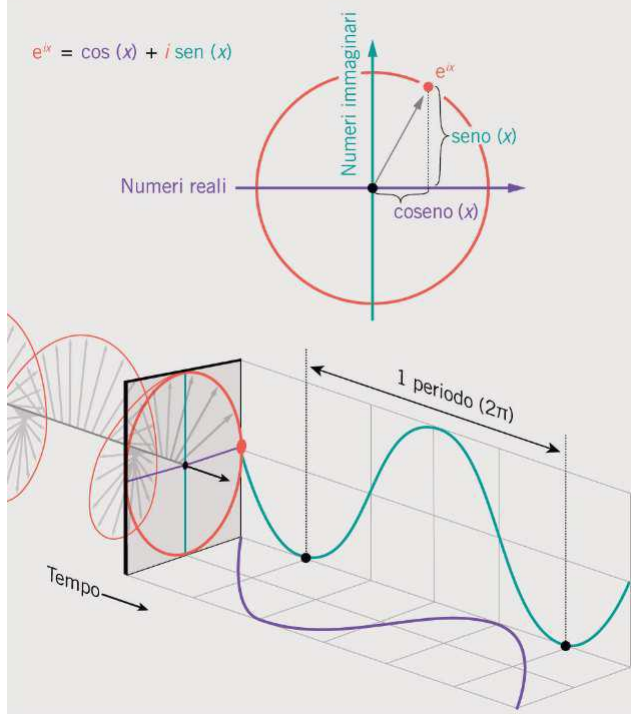
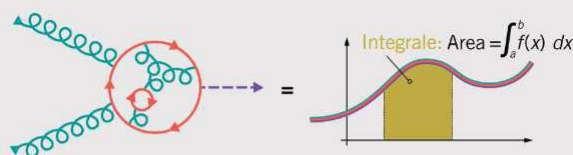
I periodi sono un tipo di numero. Avrete presente i numeri naturali (1, 2, 3, 4...) e i numeri razionali (le frazioni)? La radice quadrata di 2 non è razionale, cioè non la si può ottenere dividendo due numeri naturali, ma è un numero algebrico: possiamo scrivere un'equazione algebrica, per esempio $x^2 = 2$, di cui la radice quadrata di 2 sia una soluzione. I periodi sono il passo successivo: sebbene non sia sempre possibile ottenerli da un'equazione algebrica, possiamo sempre ottenerli come integrali.

Perché vengono chiamati periodi? Nei casi più semplici, lo sono letteralmente: un tempo da far passare prima che qualcosa si ripeta. Alle scuole superiori avrete combattuto con seni e coseni, e forse ricordate che li si può combinare con i numeri immaginari (le radici quadrate di numeri negativi, e quindi numeri che normalmente non esisterebbero), usando la formula di Eulero: $e^{ix} = \cos(x) + i\,\mathrm{sen}(x)$ (qui «e» è una costante, e «i» è la radice quadrata di −1). Tutte e tre queste funzioni, $\mathrm{sen}(x)$, $\cos(x)$ ed e^{ix}, hanno periodo 2π: una volta che la variabile x ha assunto i valori fra 0 e 2π la funzione si ripete e si ottengono di nuovo gli stessi numeri.

2π è un periodo perché è la distanza prima che e^{ix} si ripeta, ma possiamo anche pensarlo come un integrale. Tracciamo un grafico di e^{ix} nel piano complesso, con i numeri immaginari su un as-

Formula di Eulero

$$e^{ix} = \cos(x) + i\,\mathrm{sen}(x)$$

La formula di Eulero vista su una circonferenza e proiettata nel tempo

Con il trucco di Goncharov, un diagramma di Feynman complesso viene rappresentato da un integrale...

...che possiamo scomporre in lettere che si comportano come logaritmi.

A C B A D E ...

Le lettere hanno una «grammatica», basata sulle proprietà dei logaritmi.

Logaritmo naturale $\ln(AB) = \ln(A) + \ln(B)$

Per esempio, il log di A per B è uguale al log di A più il log di B.

C F AB E D = C F A E D + C F B E D

E il log di C all'*n*-ma potenza è uguale a *n* per il log di C.

$$\ln(C^n) = n \times \ln(C)$$

Possiamo applicare queste stesse regole per manipolare il nostro alfabeto per i calcoli con i diagrammi di Feynman.

D A C^n B A = n × D A C B A

se e i numeri reali sull'altro: forma una circonferenza. Se vogliamo misurare la lunghezza di questa circonferenza lo possiamo fare con un integrale, sommando ogni piccolo segmento lungo tutto il giro. In questo modo troveremo esattamente 2π.

Che cosa succede se percorriamo la circonferenza solo in parte, fino a un certo punto z? In questo caso è necessario risolvere l'equazione $z = e^{ix}$. Ripensando alle superiori, ricorderete forse che cosa serve per risolvere questa equazione: il logaritmo naturale, $\ln(z)$. I logaritmi non somigliano a un «periodo» quanto 2π, ma poiché si possono ottenere dagli integrali i matematici chiamano anch'essi periodi. Dopo 2π, i logaritmi sono i periodi più semplici.

I periodi che interessano ai matematici e ai fisici possono essere molto più complicati di così, naturalmente. A metà degli anni novanta i fisici iniziarono a classificare i periodi negli integrali che venivano fuori dai diagrammi di Feynman, e da allora hanno trovato una varietà vertiginosa di numeri esotici. Sorprendentemente, però, l'impostazione scolastica rimane utile: molti di questi numeri esotici, se visti come periodi, si possono scomporre in logaritmi. Se capiamo i logaritmi possiamo capire quasi tutto il resto.

È stato questo il segreto che Goncharov ha insegnato a Spradlin, Vergu e Volovich, mostrando loro come prendere il groviglio di 17 pagine di Del Duca, Duhr e Smirnov per scomporlo in una sorta di «alfabeto» di logaritmi. Questo alfabeto obbedisce a una sua «grammatica» basata sulle relazioni tra i logaritmi, e usando questa grammatica i fisici sono riusciti a riscrivere il risultato in termini di poche «lettere» speciali, dando un aspetto molto più semplice a un complesso calcolo di fisica delle particelle.

Per riassumere, i fisici calcolano le ampiezze di scattering usando i diagrammi di Feynman, il che richiede il calcolo di certi integrali. Questi integrali sono sempre periodi, a volte complicati, ma spesso possiamo scomporre quelli complicati in periodi più semplici (logaritmi) usando il trucco di Goncharov, che è ciò che ha dato lo slancio al mio campo dello studio delle ampiezze. Possiamo dividere molti degli integrali che usiamo in un alfabeto di lettere che si comportano come logaritmi, e le stesse regole che si applicano ai logaritmi, tra cui leggi basilari come $\ln(xy) = \ln(x) + \ln(y)$ e $\ln(x^n) = n \ln(x)$, funzionano per questo alfabeto.

Anagrammi

Il trucco alfabetico di Goncharov non sarebbe poi chissà che, se servisse solo a risparmiare pagine in un articolo. Una volta che conosciamo l'alfabeto corretto, però, possiamo anche svolgere calcoli nuovi, che altrimenti non sarebbero stati possibili. Conoscere l'alfabeto ci permette addirittura di saltare i diagrammi di Feynman e di formulare direttamente ipotesi sul risultato.

Somiglia un po' a un gioco tipico dei giornali anglosassoni, il *word jumble*, in cui partendo da alcune lettere disordinate bisogna ricomporre certe parole sapendone la lunghezza. Se fossimo pigri, potremmo far scrivere a un computer le lettere in tutti gli ordini possibili e poi scorrere l'elenco. Alla fine vedremmo una parola che ha senso e avremmo trovato la soluzione.

L'elenco delle possibilità, però, può essere notevolmente lungo. Fortunatamente in fisica partiamo già con qualche indizio. Iniziamo con un alfabeto di logaritmi che descrivono le proprietà che possono avere le nostre particelle, come energia e velocità. Poi iniziamo a scrivere parole con questo alfabeto, che rappresentano gli integrali che potrebbero apparire nel risultato finale. Alcune parole non hanno senso fisico: descrivono particelle che in realtà non esistono o diagrammi che sarebbe impossibile disegnare. Altre servono solo a spiegare cose che già sappiamo: che succede

quando una particella diventa molto lenta o molto veloce. In definitiva possiamo sfoltire la situazione da milioni di potenziali parole, a migliaia, poi a decine e infine a un'unica risposta. Iniziando con un'ipotesi, finiamo con l'unica parola possibile che può avere senso come ampiezza di scattering.

Nel 2011 Lance J. Dixon, James M. Drummond e Johannes Henn hanno usato la tecnica per trovare la «parola» giusta per un calcolo con tre loop. Sono entrato nel loro gruppo nel 2013, quando sono andato via dal dottorato a Long Island per passare l'inverno a lavorare per Dixon allo SLAC National Accelerator Laboratory della Stanford University. Insieme a Jeffrey Pennington, allora dottorando, abbiamo ricavato il risultato in una forma che potevamo confrontare con il vecchio calcolo per due loop di Del Duca, Duhr e Smirnov. Invece di 17 pagine avevamo una formula lunga 800 pagine, e senza disegnare un singolo diagramma di Feynman.

Da allora ci siamo spinti verso numeri sempre maggiori di loop e la collaborazione si è ampliata: si sono uniti Duhr, Andrew McLeod, Simon Caron-Huot, Georgios Papathanasiou e Falko Dulat. Ora siamo a sette loop, e non so quante pagine ci vorranno per scrivere le nuove formule. Il trucco di Goncharov non basta per semplificare il risultato quando il calcolo è così complicato; in questo caso siamo felici già solo che lo renda possibile! Archiviamo i risultati in file così grandi che pensereste che si tratti di video, non di testo.

La frontiera ellittica

Ricorderete che più loop includiamo nel calcolo dell'ampiezza di scattering e più precise saranno le previsioni. Sette loop sarebbero più precisi dei due o poco più che può misurare LHC, e dello standard di quattro loop nell'elettromagnetismo quantistico. Dico «sarebbero», però, perché c'è un problema: i nostri calcoli con sette loop usano un «modellino», una teoria delle interazioni tra particelle più semplice rispetto a una che possa descrivere il mondo reale. Affinare i nostri calcoli in modo che possano descrivere la realtà sarà difficile, e ci sono numerosi ostacoli; tra l'altro avremo bisogno di capire certe cose che si chiamano integrali ellittici.

Il modellino che usiamo si comporta molto bene. Una delle sue caratteristiche migliori è che, per il tipo di calcoli che svolgiamo, il metodo di Goncharov funziona sempre: possiamo sempre scomporre l'integrale in un alfabeto di logaritmi, di integrali su circonferenze. Nel mondo reale, questa tattica incontra ostacoli già con due loop: due integrali possono essere aggrovigliati tra loro in modo da non poterli districare.

Pensiamo a due anelli concatenati che non si possono separare. Se ne facciamo ruotare uno intorno all'altro descriviamo un toro, cioè la superficie di una ciambella. Un toro ha due «periodi», due modi diversi per tracciargli attorno una curva chiusa, corrispondenti ai due anelli. Se integriamo lungo una circonferenza isolata otteniamo un logaritmo. Se cerchiamo di disegnare un anello attorno a un toro non otteniamo sempre una circonferenza: possiamo invece ottenere un'ellisse. Chiamiamo questi integrali attorno a un toro integrali ellittici, cioè integrali su una curva ellittica.

Per capire appieno le curve ellittiche ci si scontra con problemi matematici complessi, alcuni dei quali sono così difficili da risolvere che organizzazioni come la National Security Agency li usano per codificare informazioni segrete, partendo dal presupposto che nessuno possa risolverli tanto velocemente da decifrare il codice. I problemi a cui siamo interessati non sono così intrattabili, ma sono pur sempre difficili. Con l'aumentare della precisione di LHC gli integrali ellittici sono sempre più essenziali e stimolano gruppi di tutto il mondo ad affrontare i nuovi concetti matematici. Il collisore è stato fermato a fine 2018 per essere potenziato, ma gli scienziati hanno ancora enormi quantità di dati da ordinare; la macchina ripartirà nel 2021, e produrrà dieci volte più collisioni di prima.

A volte la velocità con cui procede questo campo mi lascia senza fiato. L'inverno scorso mi sono rintanato alla Princeton University con alcuni colleghi: McLeod, Spradlin, Jacob Bourjaily e Matthias Wilhelm. In due settimane siamo passati da un abbozzo a un lavoro completo, calcolando un'ampiezza di scattering in cui compaiono integrali ellittici. Dei miei articoli è quello scritto più velocemente, e per tutto il tempo temevamo che qualcuno ci battesse, che un altro gruppo svolgesse per primo lo stesso calcolo.

Non ci hanno battuti. Ma non molto tempo dopo abbiamo ricevuto un piccolo regalo di Natale in anticipo: due articoli di Duhr, Dulat, Johannes Broedel e Lorenzo Tancredi che spiegavano un modo migliore per gestire questi integrali, basandosi sul lavoro dei matematici Francis Brown e Andrey Levin. Questi articoli, e uno successivo insieme a Brenda Penante, ci hanno fornito il pezzo che ci mancava: un nuovo alfabeto di «lettere ellittiche».

Con un alfabeto così possiamo applicare il trucco di Goncharov a integrali più complicati e iniziare a capire le ampiezze a due loop, non solo in un modello giocattolo ma anche nel mondo reale.

Se possiamo svolgere calcoli con due loop in situazioni realistiche, se riusciamo a capire che cosa prevede il modello standard con un nuovo livello di precisione, possiamo capire se i dati di LHC corrispondono a queste previsioni. Se non corrisponderanno, avremo un indizio che stia succedendo qualcosa di nuovo, qualcosa che le nostre teorie non sono in grado di spiegare. Potrebbe bastare questo dato per far avanzare la fisica delle particelle verso la prossima frontiera, per sbloccare i misteri rimanenti che ancora non riusciamo a decifrare. ■

PER APPROFONDIRE

Classical Polylogarithms for Amplitudes and Wilson Loops. Goncharov A.B. e altri, in «Physical Review Letters», Vol. 105, articolo n. 151605, 7 ottobre 2010. Preprint disponibile all'indirizzo: **https://arxiv.org/abs/1006.5703.**

Bootstrapping Six-Gluon Scattering in Planar *N* = 4 Super-Yang-Mills Theory. Dixon L.J. e altri. Presentato al XII DESY Workshop on Elementary Particle Physics, Weimar, Germania, 27 aprile-2 maggio 2014. Preprint disponibile all'indirizzo: **https://arxiv.org/abs/1407.4724.**

Alberi, circuiti e la ricerca di una nuova fisica. Bern Z., Dixon L.J. e Kosower D.A., in «Le Scienze» n. 527, luglio 2012.

L’ago

PALEOANTROPOLOGIA

Una nuova tecnica con cui identificare minuscoli frammenti di osso fossilizzati aiuta a rispondere a domande chiave su quando, dove e come hanno interagito fra loro le diverse specie umane

di Thomas Higham e Katerina Douka

Fotografie di Christoffer Rudquist

Fra gli scarti fossili potrebbero esserci preziosi resti umani: il problema è trovarli.

nel pagliaio

Thomas Higham dirige l'Oxford Radiocarbon Accelerator Unit dell'Università di Oxford. Le sue ricerche si concentrano sulla datazione delle ossa dei siti archeologici eurasiatici del Paleolitico medio e superiore.

Katerina Douka è una archeologa del Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte di Jena, in Germania. Dirige un gruppo che cerca fossili neanderthaliani e denisoviani nelle collezioni di frammenti ossei non identificati provenienti da siti dell'Asia.

sempre un sollievo quando si arriva alla grotta di Denisova, in Siberia meridionale. Dopo 11 ore di sobbalzi su una strada diretta a sud-est da Novosibirsk attraverso la steppa e poi le alture ai piedi dei Monti Altai, dietro una curva della sterrata appare all'improvviso il campo base, e il ricordo di tutto il viaggio svanisce. Valli scoscese, fiumi dal corso rapido e le tradizionali case di legno del popolo Altai dominano il paesaggio; in alto volteggiano le aquile reali.

A un paio di centinaia di metri di distanza, nella roccia calcarea si apre la caverna, arroccata in alto sul fiume Anui, che ci attira a sé con la promessa di una fra le più entusiasmanti ricerche in corso sulle origini dell'umanità.

La grotta di Denisova è al centro di una rivoluzione delle idee scientifiche sui comportamenti e le interazioni dei nostri antenati nel Paleolitico. La nostra specie, *Homo sapiens*, emerse in Africa centinaia di migliaia di anni fa. Quando poi cominciò a espandersi in Europa e Asia incontrò altre specie umane, come i Neanderthal, con le quali condivise il pianeta per millenni, fino alla scomparsa di quelle specie arcaiche. Gli scienziati sanno che questi gruppi si incontrarono fra loro perché oggi le persone hanno DNA proveniente dai nostri parenti estinti: il risultato di incroci avvenuti fra i primi *H. sapiens* e i membri degli altri gruppi. Quello che però non sappiamo e non vediamo l'ora di accertare è quando e dove i loro cammini si siano incontrati, quanto spesso si siano incrociati e come potrebbero essersi influenzati gli uni con gli altri in termini culturali. In realtà abbiamo un buon numero di importanti siti archeologici di questo periodo di transizione, contenenti utensili in pietra e altri manufatti. Ma molti di questi siti, fra cui Denisova, sono privi di fossili umani abbastanza completi da poterli attribuire a una specie o a un'altra in base ai tratti fisici. Questa mancanza ha ostacolato la nostra capacità di stabilire quale specie abbia fatto che cosa, e quando.

Ora una tecnica di caratterizzazione di antichi frammenti ossei detta zooarcheologia mediante spettrometria di massa (ZooMS) permette finalmente ai ricercatori di cominciare a rispondere a queste domande. Analizzando una proteina, il collagene, preservata in questi frammenti di osso apparentemente incapaci di dare alcuna informazione, possiamo identificare quelli che provengono dalla famiglia che include l'essere umano e le grandi scimmie antropomorfe, e poi cercare di recuperare DNA da questi reperti. In questo modo si può riuscire a identificare la specie da cui provengono: che sia Neanderthal, *H. sapiens* o un'altra. Inoltre possiamo eseguire test per determinare l'età dei singoli frammenti.

La datazione diretta dei fossili è un processo distruttivo: per l'analisi bisogna sacrificare parte dell'osso. I curatori dei musei in genere sono molto riluttanti a sottoporvi le ossa complete. Ma per i frammenti non hanno di queste riserve.

La possibilità di datare direttamente i fossili scoperti in asso-

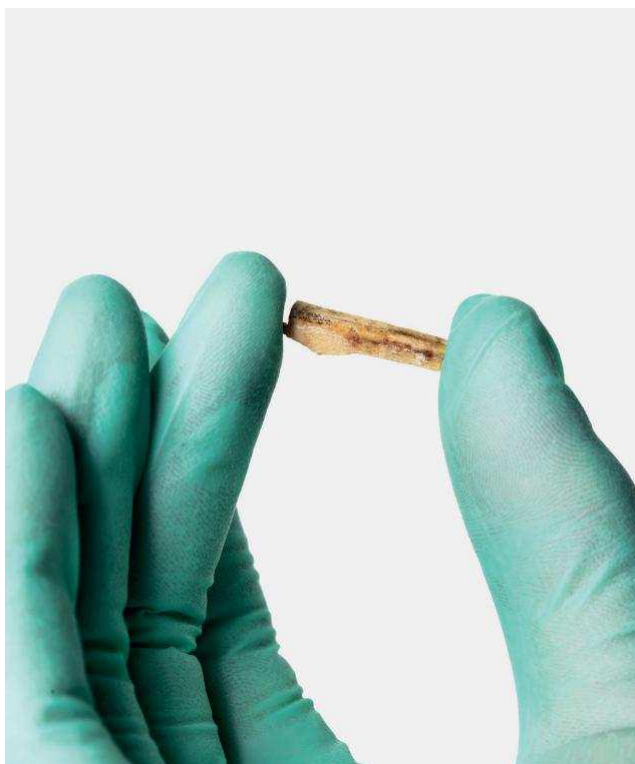
IN BREVE

Nel Paleolitico medio e in quello superiore *Homo sapiens* si diffuse dall'Africa in Eurasia. Successivamente, gruppi umani arcaici di tutta la regione eurasiatica, fra cui Neanderthal e Denisoviani, scomparvero.

I ricercatori sono assai interessati a capire natura e portata delle interazioni tra questi gruppi nel corso della transizione. Molti siti archeologici importanti per questo periodo non hanno però fossili attribuibili a una specie o a un'altra in base alla loro anatomia.

Una combinazione di tecniche permette ora agli scienziati di analizzare grandi quantità di frammenti ossei non identificati, individuando resti umani che poi possono datare e sottoporre a sequenziamento del DNA. Il metodo ha già portato a indizi per la comprensione delle dinamiche tra specie diverse.

Ricercatori ispezionano i depositi archeologici nella grotta di Denisova, in Siberia, prima di prelevare campioni da analizzare con la tecnica ZooMS e datare con il radiocarbonio. Sotto, un frammento osseo proveniente dalla stessa grotta è il reperto più recente a essere stato identificato, proprio grazie a ZooMS, come membro della famiglia di cui fanno parte esseri umani e grandi scimmie antropomorfe.

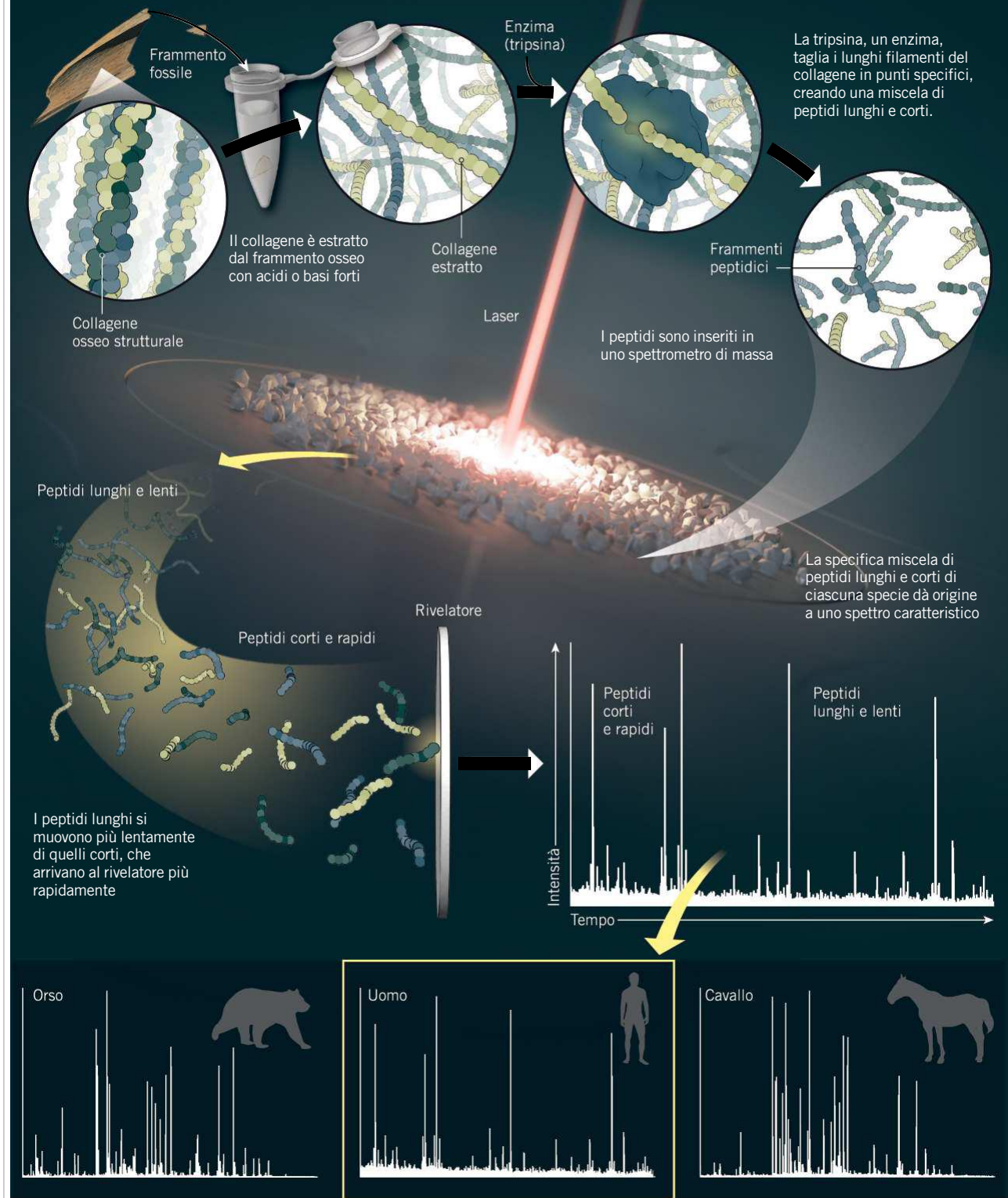
Sergej Zelinskij, Istituto di archeologia ed etnografia della sezione siberiana dell'Accademia russa delle scienze (*ricercatori*)

ciazione con manufatti è particolarmente interessante nel caso di Denisova e di altri siti che sappiamo aver ospitato diverse specie umane. Vari ricercatori hanno sostenuto che manufatti simbolici e decorativi che indirettamente segnalano abilità cognitive moderne vengano esclusivamente da *H. sapiens*. Altri ritengono che anche i Neanderthal e altre specie abbiano prodotto reperti simili, e anzi potrebbero aver trasmesso qualche propria tradizione agli *H. sapiens* che hanno incontrato. Avere la possibilità di identificare e datare questi frammenti significa che i ricercatori possono cominciare a ricostruire la cronologia di questi siti molto più in dettaglio e chiarire un capitolo cruciale della preistoria umana.

Missione impossibile

Gli archeologi russi scavano a Denisova fin dagli anni ottanta. Ma a mettere il sito sotto i riflettori è stato un annuncio del 2010, quando scienziati del Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie di Lipsia, in Germania, hanno pubblicato i risultati di analisi genetiche effettuate su un osso scoperto a Denisova nel 2008. Il DNA estratto dal fossile – un frammento dell'osso di un dito – ha rivelato un tipo di ominino, cioè un membro della famiglia umana, che fino ad allora era rimasto nell'ombra ed era strettamente imparentato con i Neanderthal proprio come lo siamo noi. L'osso era di una ragazza, inizialmente chiamata «donna X», appartenente a un gruppo che oggi gli scienziati chiamano Denisoviani. Da allora, tra i resti recuperati negli scavi è stato identificato qualche altro osso o dente di ominino sia di Denisova sia Neanderthal.

Di chi è quest'osso?

ZooMS permette di assegnare i frammenti ossei ai gruppi tassonomici corretti. Nella tecnica si analizza il collagene, una proteina preservata nelle ossa. Un enzima taglia il collagene nelle catene peptidiche che lo compongono. In uno spettrometro di massa, un laser fornisce una carica elettrica ai peptidi, che poi sono inviati a un rilevatore che misura i tempi di arrivo di ciascuno di essi. Lo spettro di valori che ne risulta costituisce una specifica «impronta digitale», che può essere confrontata con una libreria di impronte digitali del collagene di varie specie note per identificare l'osso ignoto.

Illustrazione di Falconieri Visual

Le scoperte ottenute a Denisova illustrano bene la quantità di informazioni che si possono ricavare dai fossili con gli approcci genetici, che ci rivelano non solo la presenza di specie prima ignote ma anche la natura delle loro interazioni con noi. Dalle analisi genetiche sappiamo, per esempio, che Neanderthal ed esseri umani si sono incrociati in almeno tre occasioni negli ultimi 100.000 anni, e che vi sono stati incroci anche tra Neanderthal e Denisoviani e tra Denisoviani ed esseri umani. Come risultato, l'idea a lungo dominante secondo cui *Homo sapiens* sarebbe uscito dall'Africa e avrebbe semplicemente spazzato via queste popolazioni arcaiche ha ceduto il passo, in un batter d'occhio, a un complesso scenario di incroci e flussi genici tra gruppi diversi: un modello delle origini umane per «sostituzione con infiltrazioni». I fossili provenienti da Denisova, però, sono per la maggior parte così incompleti che non si riesce a riconoscere quelli che potrebbero appartenere a una specie umana. E il sito è notoriamente difficile da datare.

Il nostro coinvolgimento nel lavoro a Denisova risale a sei anni fa e si deve alla nostra competenza nelle determinazioni cronologiche, e in particolare nell'uso del radiocarbonio per ricostruire il quadro temporale dei siti archeologici. Quando si tratta di materiali del Paleolitico medio e superiore (cioè, rispettivamente, i periodi che vanno da circa 250.000 a 40.000 e da 40.000 a 10.000 anni fa), la datazione è di estrema importanza perché spesso i siti in sé sono privi delle tipologie distintive di utensili che siamo in grado di associare a periodi di tempo ben definiti. Noi stiamo lavorando a costruire una solida cronologia del sito di Denisova, come pure di altri siti paleolitici dell'Eurasia.

Le scoperte di Denisova illustrano bene come gli approcci genetici ci rivelano la presenza di specie ignote e la natura delle loro interazioni con noi

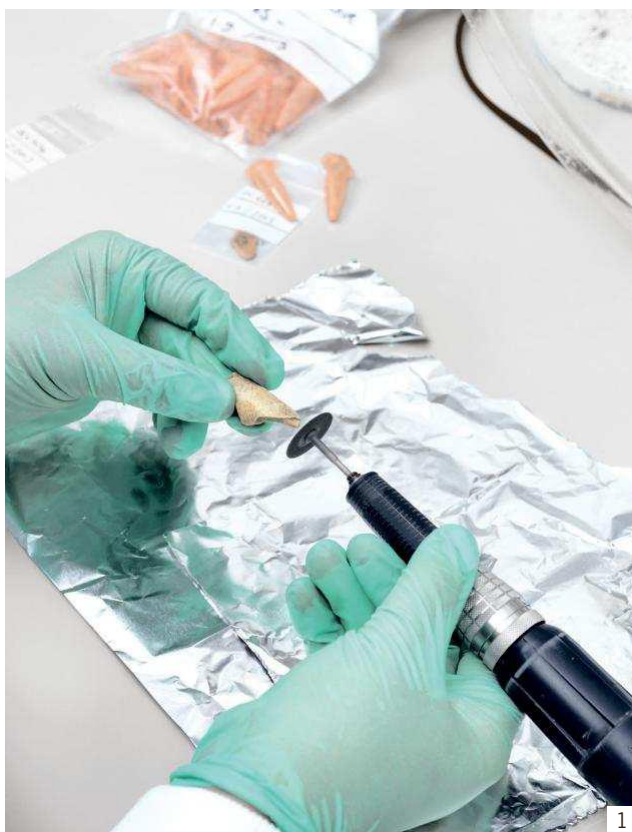
Eravamo entrambi al sito nel 2014 per una riunione del gruppo di Denisova quando abbiamo proposto un'idea che pensavamo potesse aiutarci a costruire un quadro più dettagliato delle interazioni avvenute tra la nostra specie, Neanderthal e Denisoviani. Un cosa evidente a Denisova era che i resti di ominini erano tutti minuscoli, lunghi appena dai 3 ai 5 centimetri. L'osso del dito della donna X, per esempio, era circa quanto una lenticchia e pesava meno di 40 milligrammi. Gran parte del materiale osseo del sito era stato sminuzzato, principalmente a causa dell'attività di predatori come le iene, che si rintanano nelle caverne quando hanno i piccoli e masticano ossa per nutrirsi. A Denisova dal 2008 sono state estratte 135.000 ossa, che però per il 95 per cento sfuggono all'identificazione tassonomica perché troppo frammentate. Invece la preservazione in questi frammenti delle molecole biologiche – DNA compreso – è straordinaria: i due genomi di ominini antichi più completi mai recuperati vengono da fossili di Denisova. E se ci fosse, ci siamo chiesti, un metodo per esaminare queste migliaia e migliaia di frammenti ossei estratti dal sito per trovare qualche altro osso umano? Se ci fossimo riusciti, probabilmente avremmo potuto produrre nuovi dati genetici e cronologici; o addirittura trovare un nuovo tipo di ominino, ancora ignoto, nascosto nella caverna. È stato allora che ci siamo resi conto che la tecnica ZooMS ci permetteva proprio questo genere di valutazione.

La tecnica ZooMS, o determinazione dell'«impronta» dei peptidi del collagene mediante spettrometria di massa, permette di assegnare frammenti ossei ai relativi gruppi tassonomici analizzando una proteina delle ossa. Il collagene, che è la principale proteina dell'osso, si può dividere in centinaia di composti più piccoli, i peptidi, che variano leggermente da un animale all'altro. Confrontando l'impronta peptidica di un osso ignoto con una libreria di impronte provenienti da animali noti, si può assegnare l'osso alla famiglia e al genere, e talvolta anche alla specie, da cui proviene. Sviluppata inizialmente da Michael Buckley, oggi all'Università di Manchester, e Matthew Collins, dell'Università di York, entrambe nel Regno Unito, ZooMS è usata da più di un decennio per identificare ossa animali estratte da siti archeologici. È relativamente economica – costa circa 5-10 dollari a campione – e minimamente distruttiva: per l'analisi bastano appena 10-20 milligrammi di osso. In più, è rapida: una persona può analizzare centinaia di ossa alla settimana.

Per quanto ne sapevamo, nessuno aveva ancora usato ZooMS per cercare frammenti umani. Ma pensavamo che potesse funzionare. Secondo noi anche i piccoli frammenti potevano risultare utili, perché la conservazione di collagene e DNA a Denisova è eccellente, data la temperatura media annua stabile e molto bassa, meno di zero gradi Celsius. Sapevamo che con ZooMS non saremmo arrivati a identificare le specie: le «firme» dei peptidi del collagene delle specie umane e delle grandi scimmie antropomorfe sono troppo simili fra loro per poterle distinguere. Ma non ci risulta che in questa parte del mondo nel Paleolitico ci fossero grandi scimmie. Quindi se avessimo identificato un pezzo d'osso appartenente a un membro del gruppo di cui fanno parte grandi scimmie antropomorfe ed esseri umani – gli ominidi – avremmo potuto essere piuttosto sicuri che proveniva da un qualche tipo di essere umano e sottoporlo alle analisi genetiche che potevano identificare la specie.

All'incontro di Denisova del 2014 c'era anche Svante Pääbo, esperto di DNA antico del Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie che dirige il Neanderthal Genome Project e il cui gruppo ha pubblicato nel 2010 il genoma denisoviano. Non lo avevamo mai incontrato formalmente, e ci interessava sentire il suo parere sulla nostra idea di esaminare i frammenti ossei, e sapere se fosse interessato a collaborare. Pääbo non si era fatto sfuggire l'occasione e l'aveva subito appoggiata. Poi avevamo discusso il nostro piano con Anatolij Derevjanko, dell'Accademia russa delle scienze, supervisore dei lavori a Denisova, e Mikhail Shunkov, direttore degli scavi, ed entrambi si erano detti interessati. Così lo stesso anno abbiamo iniziato a campionare le migliaia di piccoli frammenti di osso, a tutti gli effetti «inutili», estratti negli ultimi anni dal sito.

In astratto sembrava un lavoro rapido. In realtà dovevamo affrontare l'impegnativo compito di rimuovere con la massima accuratezza un minuscolo campione osseo da analizzare da ognuno dei frammenti, facendo attenzione a non toccare i reperti potenzialmente preziosi con qualunque cosa che avrebbe potuto contaminarli. Gran parte del lavoro è stata eseguita da una nostra studentessa, Samantha Brown, che ha realizzato il progetto per la tesi di ricerca con cui ha conseguito il master, e vi ha dedicato innumerevoli ore nel nostro laboratorio all'Università di Oxford.

Buckley collabora con noi al progetto. Una volta pronti 700-800 campioni ossei, Brown è andata nel suo laboratorio e li ha analizzati. I risultati sono stati interessanti: c'erano mammut, iene, cavalli,

Per analizzare i frammenti fossili è necessario prelevare un campione di 20 milligrammi da ciascuno dei piccoli reperti (*1*). Altri campioni sono preparati per la datazione al radiocarbonio (*2*).

renne, rinoceronti lanosi, tutto il bestiario dell'era glaciale, ma nessuna delle impronte peptidiche corrispondeva agli ominidi. Era una delusione, ma abbiamo deciso di provare con un altro lotto di frammenti e vedere se riuscivamo a trovare almeno un osso umano. Non eravamo ottimisti, ma speravamo di sbagliarci.

Poi, una sera d'estate del 2015, abbiamo ricevuto un'e-mail da Buckley. Aveva notato che uno dei nostri campioni, DC1227, aveva nei suoi peptidi i segni caratteristici degli ominidi. Era un frammento d'osso umano: il proverbiale ago nel pagliaio! Eravamo felici; la nostra pazza idea sembrava aver funzionato.

Il giorno dopo siamo andati in laboratorio a Oxford a cercare l'osso fra i campioni in archivio. L'entusiasmo è un po' calato quando abbiamo visto che si trattava di un frammento minuscolo anche considerando che veniva da Denisova – appena 25 millimetri di lunghezza – il che non lasciava molto per altre analisi. Ma, vista la conservazione eccezionale delle biomolecole osservata nei resti di Denisova, abbiamo pensato che sarebbe bastato per applicare le tecniche che volevamo usare per ricavarne più dati possibile. L'abbiamo fotografato ad alta risoluzione, abbiamo fatto una tomografia computerizzata e abbiamo prelevato altri campioni per la datazione e l'analisi isotopica; poi Brown ha portato l'esemplare a Lipsia per farlo analizzare nel laboratorio di Pääbo.

Dopo alcune settimane sono arrivati i risultati della datazione. L'assenza di carbonio radioattivo rilevabile nel campione indicava che il frammento aveva più di 50.000 anni. Non molto tempo dopo abbiamo saputo da Pääbo che il DNA mitocondriale – che si trova negli organelli cellulari che producono energia ed è trasmesso dalla madre ai figli – indicava che l'osso proveniva da un individuo che aveva per madre una neanderthaliana. Avevamo trovato un frammento osseo di ominino nascosto in mezzo a migliaia di altri frammenti «inutili» e dimostrato che l'idea poteva funzionare. Il gruppo di Pääbo si preparava a estrarre dall'osso, ora denominato «Denisova 11» dal sito di provenienza (e da noi soprannominato «Denny»), il genoma nucleare, assai più ricco di informazioni. Nel frattempo avevamo deciso di testare l'approccio in un altro sito.

Noi e loro

La grotta di Vindija, in Croazia, è un sito cruciale per capire gli ultimi Neanderthal in Europa. Per molti anni le datazioni al radiocarbonio hanno indicato che lì i Neanderthal potrebbero essere sopravvissuti fino a 30.000 anni fa, fornendo una prova di una possibile fase di sovrapposizione con gli esseri umani, che giunsero nella regione tra 42.000 e 45.000 anni fa. Una coesistenza così prolungata ha suggerito che i Neanderthal, più che essere stati portati all'estinzione dagli esseri umani, fossero stati assimilati nella loro popolazione.

Durante il riesame della cronologia di Vindija abbiamo deciso che poteva essere interessante usare ZooMS per studiare i resti ossei non identificati trovati nel sito. Il lavoro già fatto sulle ossa più complete di Vindija aveva mostrato che tra i resti dominano quelli di orsi delle caverne, con l'80 per cento circa delle ossa, quindi non ci attendevamo di trovare la varietà e l'ampiezza della fauna che avevamo rilevato a Denisova. Il progetto è stato preso in carico da Cara Kubiak, una nostra studentessa di allora.

Con nostra sorpresa, il ventottesimo esemplare dei 383 analizzati ha mostrato una sequenza peptidica analoga a quella de-

gli ominidi. Poi il gruppo di Pääbo ha confermato per via genetica che era un Neanderthal. L'osso era lungo 7 centimetri, ed era interessante anche perché mostrava segni di taglio e di altre modifiche umane; sono segni che a volte si osservano sulle ossa dei Neanderthal e potrebbero indicare macellazione e cannibalismo.

L'esemplare, indicato con Vi-*28, è stato centrale per il nostro lavoro sulla cronologia. Storicamente archeologi e tecnici hanno trattato le ossa estratte da Vindija con preparati conservativi per proteggerle. Questa pratica rende ardua la datazione al radiocarbonio perché i preparati aggiungono all'osso nuovo carbonio. Contrariamente alle altre ossa umane del sito, Vi-*28 non era stato in contatto con prodotti conservanti: confuso con un osso di animale, era sfuggito al trattamento; e noi ne abbiamo approfittato. La datazione al radiocarbonio di Vi-*28 ha rivelato che era di un Neanderthal di oltre 47.000 anni fa. Questo risultato, pubblicato nel 2017, insieme alle date da noi ottenute per altri neanderthaliani, ha mostrato che i Neanderthal erano scomparsi da Vindija più di 40.000 anni fa, prima dell'arrivo degli esseri umani. Le precedenti datazioni, che ne suggerivano la permanenza fino almeno a 30.000 anni fa, erano false, influenzate dalla rimozione incompleta del carbonio contaminante. ZooMS aveva di nuovo dimostrato il suo valore.

Nel caso di Denisova 11, il DNA mitocondriale ci aveva raccontato solo metà della storia

Anche altri gruppi hanno ottenuto grandi successi con questa tecnica. Nel 2006 Frido Welker, oggi al Museo danese di storia naturale, e colleghi hanno riferito di aver usato ZooMS per riconoscere 28 fossili ominini tra i frammenti non identificati scoperti nel sito francese della Grotte du Renne, in Borgogna. Decenni fa in quel sito i ricercatori avevano trovato ossa di Neanderthal in associazione con manufatti sorprendentemente raffinati, fra cui attrezzi d'osso, pendenti e altri ornamenti per il corpo caratteristici di una cultura, detta castelperroniana, che si ritiene rappresenti la transizione tra Paleolitico medio e Paleolitico superiore. La scoperta andava contro l'idea di vecchia data per cui solo *H. sapiens* è capace di tanta abilità; quindi aveva inaugurato un lungo dibattito in cui si discuteva se davvero i Neanderthal fossero associati con quei manufatti avanzati o se invece gli strati del sito fossero stati disturbati in qualche modo, mischiando le ossa neanderthaliane con manufatti successivi lasciati da *H. sapiens*.

I 28 frammenti ossei identificati come umani da Welker e colleghi con ZooMS provenivano tutti chiaramente dallo stesso strato degli utensili e degli ornamenti. Quando poi ne è stato sequenziato il DNA, i risultati sono stati inequivocabili: erano esemplari di Neanderthal, non di *H. sapiens*. Questo lavoro offre considerevole sostegno all'idea che l'industria castelperroniana e altre industrie di transizione siano opera dei neanderthaliani, e che i Neanderthal fossero più intelligenti di quanto spesso si riconosca.

Un individuo ibrido

Mentre lavoravamo a Vindija, abbiamo continuato ad analizzare campioni provenienti da Denisova nella speranza di aggiungere altri fossili umani alla nostra collezione. Abbiamo individuato due frammenti di ominidi: DC3573, che proviene da un neanderthaliano di oltre 50.000 anni fa, e DC3758, un osso di 46.000 anni fa in cui non è rimasto DNA antico. Finora fra oltre 5000 frammenti d'osso abbiamo trovato cinque ossa ominine che senza ZooMS avrebbero potuto languire per sempre nell'ombra.

Ma lo sviluppo più entusiasmante doveva ancora arrivare. Nel maggio 2017 eravamo al Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie di Lipsia per incontrare alcuni dei principali scienziati del laboratorio di Pääbo, fra cui Matthias Meyer e Janet Kelso. Volevamo sapere a che punto erano con Denisova 11 e se erano riusciti a recuperare il DNA nucleare, che ci avrebbe dato un quadro assai più dettagliato dell'individuo.

Nella scienza non succede spesso di ricevere una notizia che ti lascia a bocca aperta, ma quella che ci avevano dato Meyer e Kelso era proprio di questo tipo. Il DNA nucleare era stranamente duplice: una metà corrispondeva a quello dei Neanderthal, l'altra metà sembrava di origine denisoviana. Pensavano che Denisova 11 fosse un ibrido 50:50. Per escludere ogni possibilità di errore e verificare questo stupefacente risultato, il gruppo stava ripetendo le analisi. Diversi mesi dopo i dati definitivi avrebbero confermato la scoperta iniziale. Il DNA mitocondriale ci aveva fornito solo metà dello scenario. Quello che avevamo trovato non era un Neanderthal, ma un individuo di madre neanderthaliana e di padre denisoviano: nel linguaggio dei genetisti, un ibrido di prima generazione. Il gruppo di Denisova ha reso nota questa straordinaria scoperta nel numero del 6 settembre di «Nature», in un articolo che ha come primo autore Viviane Slon, del Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie.

Oggi sappiamo dal DNA che Denisova 11 era una femmina vissuta probabilmente tra 90.000 e 100.000 anni fa. Le analisi della densità ossea ricavate dalle nostre scansioni di tomografia computerizzata hanno permesso a Bence Viola dell'Università di Toronto una stima provvisoria dell'età alla morte: almeno 13 anni. Il padre, un Denisoviano, aveva a sua volta fra gli antenati, centinaia di generazioni prima, un Neanderthal. Naturalmente, non potremo mai sapere come sono avvenute queste unioni nella preistoria, sappiamo solo che sono avvenute. E neppure possiamo stabilire come sia morta Denisova 11, ma solo che i suoi resti sono stati probabilmente depositati nei sedimenti della grotta da un predatore, forse una iena.

Non sapremo mai se dopo la morte sia stata tumulata con una cerimonia dai suoi cari, solo per poi essere dissepolta da una iena, o se invece sia stata uccisa da un predatore. Per decine di millenni questa minuscola parte del suo corpo ha giaciuto nella grotta; e avrebbe potuto rimanervi per molti anni ancora, se non fosse stato per gli strumenti scientifici avanzati che ci hanno permesso di riportare alla vita la sua storia. Siamo fiduciosi che ZooMS ci aiuterà a scoprire molti altri segreti archiviati nelle ossa. ■

PER APPROFONDIRE

Identification of a New Hominin Bone from Denisova Cave, Siberia Using Collagen Fingerprinting and Mitochondrial DNA Analysis. Brown S. e altri, in «Scientific Reports», Vol. 6, articolo n. 23559, 29 marzo 2016.

Palaeoproteomic Evidence Identifies Archaic Hominins Associated with the Châtelperronian at the Grotte du Renne. Welker F. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 113, n. 40, pp. 11.162-11.167, 4 ottobre 2016.

Direct Dating of Neanderthal Remains from the Site of Vindija Cave and Implications for the Middle to Upper Paleolithic Transition. Devièse T. e altri, «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 114, n. 40, pp. 10.606-10.611, 3 ottobre 2017.

The Genome of the Offspring of a Neanderthal Mother and a Denisovan Father. Slon V. e altri, «Nature», Vol. 561, pp. 113-116, 6 settembre 2018.

L'ultimo rimasto. Wong K., in «Le Scienze» n. 603, novembre 2018.

NEUROSCIENZE

La MENTE e il PASTO

Gli interventi chirurgici per perdere peso rimodellano le connessioni tra intestino e cervello?

di Bret Stetka

Illustrazione di Bomboland

Bret Setka è uno scrittore residente a New York e direttore editoriale di «Medscape» (una controllata di WebMD). Suoi articoli sono apparsi su «Wired» e sulle edizioni on line di «The Atlantic» e «NPR». Si è laureato alla University of Virgina School of Medicine nel 2005.

Per Teresa il primo piatto di uova strapazzate è stata un'esperienza sublime. All'epoca questa caposala quarantunenne allo Stanford University Medical Center aveva completamente perso l'appetito nei giorni successivi all'intervento; consumava solo liquidi e solo su richiesta del chirurgo. Eppure, quando l'interesse per il mangiare era tornato, era come se qualcosa del suo rapporto col cibo risultasse stravolto. Le uova, il primo pasto solido di Teresa dopo quattro settimane, sono state una rivelazione: semplici, soffici e burrose. Con sua sorpresa, costituivano un pasto che la soddisfaceva pienamente: il desiderio di dolci e pietanze succulente era svanito; le patatine fritte e i dessert golosi, che un tempo tanto amava, non la allettavano più. Il desiderio di mangiare era comparso di nuovo, ma per la prima volta in vita sua le riusciva facile mangiare «in modo corretto».

Teresa aveva subito una gastrectomia a manica – una delle procedure conosciute come interventi bariatrici, che manipolano stomaco e intestino per favorire la perdita di peso. Eppure, più che la perdita di peso – che ha ottenuto – Teresa considera come risultato più sorprendente della sua operazione del 2012 il completo cambiamento dei suoi desideri irrefrenabili, il *craving*.

Fin da bambina lottava con il suo peso. Anni di terapia ormonale, quando provava a restare incinta, non erano serviti a nulla, e neanche la stessa gravidanza. «Prima di venirne a conoscenza, pesavo 120 chilogrammi», ricorda Teresa. «Non riuscivo a liberarmi del peso eccessivo, e dire che le avevo provate tutte: le diete più diverse, molta attività fisica». I chilogrammi di troppo le rendevano anche difficile gestire un bimbo piccolo. «Non riuscivo a stare dietro a mio figlio», commenta.

La gastrectomia a manica può ridurre uno stomaco grande come un pallone da calcio alle dimensioni di una banana, a circa il 15 per cento della grandezza originaria. A distanza di un anno – dopo mesi di alimentazione più sana e ben più contenuta – Teresa era scesa a 68 chilogrammi. «Era addirittura un peso basso per me – commenta – però l'intervento aveva stravolto le mie abitudini alimentari».

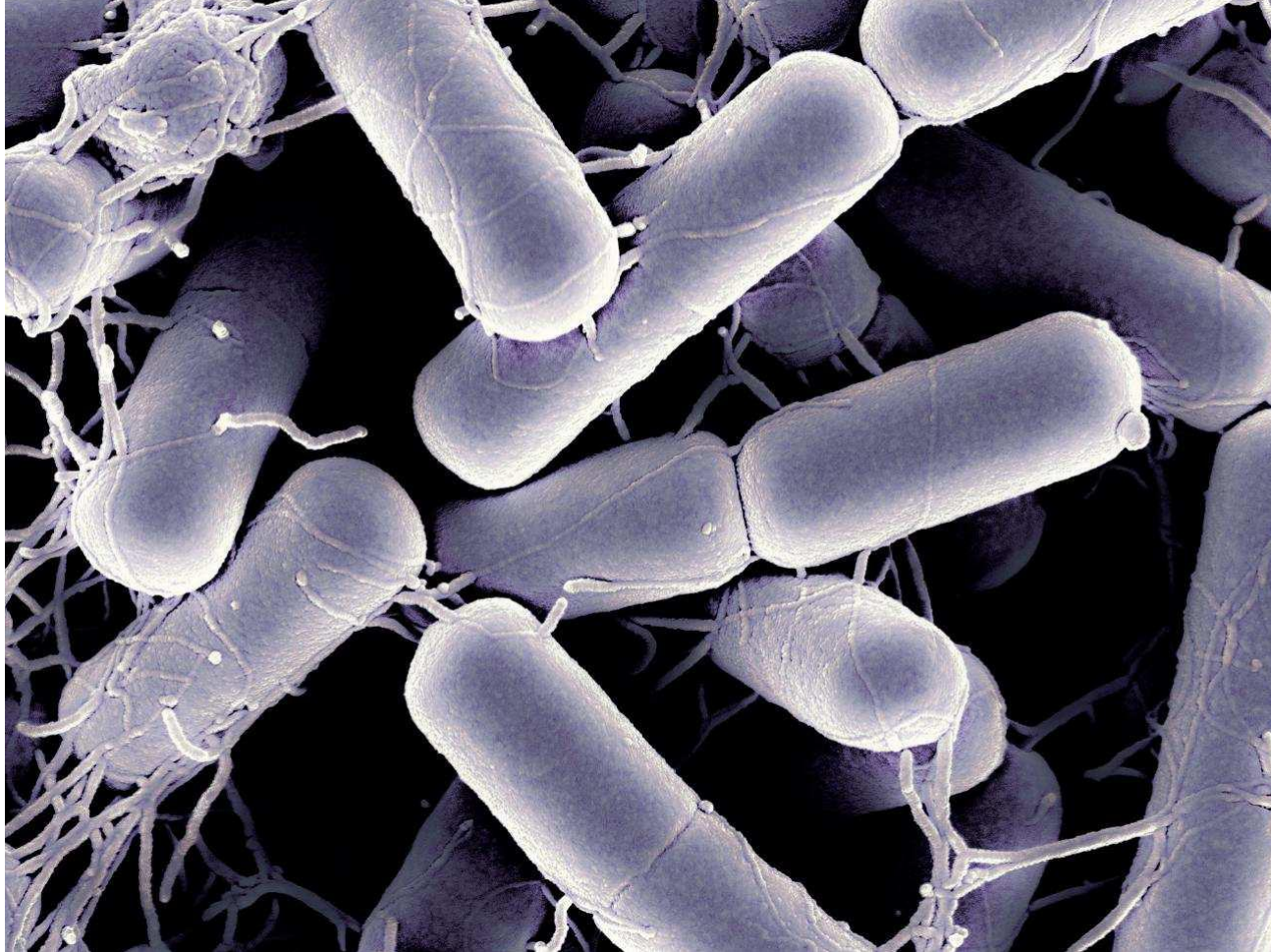
Fin dagli anni sessanta, da quando sono state introdotte queste tecniche, i medici hanno considerato la chirurgia bariatrica una soluzione essenzialmente meccanica. Stando al ragionamento, uno stomaco più piccolo contiene ed elabora meno cibo; i pazienti si saziano più rapidamente, mangiano di meno e quindi perdono peso.

Questa teoria è vera in parte. Tuttavia, gli scienziati oggi sanno che la realtà delle cose è più complessa. La perdita di peso di Teresa è stata causata molto probabilmente dal drastico cambiamento nel dialogo tra il suo intestino e il suo cervello. Quella procedura aveva stimolato indirettamente nuove connessioni neurali, cambiando il suo modo di concepire e di desiderare il cibo. Di recente la scienza ha rivelato che appetito, metabolismo e peso sono regolati da un complesso dialogo tra intestino e cervello; un dialogo in cui gli influssi meccanici, gli ormoni, gli acidi biliari e addirittura i microbi che vivono nel nostro intestino interagiscono, tutti, tramite labirintici circuiti neurali. Come stanno scoprendo gli scienziati,

IN BREVE

I medici ipotizzano da tempo che la chirurgia bariatrica aiuti i pazienti a perdere peso riducendo le dimensioni del loro stomaco. Nuovi studi suggeriscono tuttavia che sono implicati altri meccanismi.

Nei pazienti sottoposti a questa procedura, le aree cerebrali coinvolte nella comunicazione con l'intestino diventano iperattive rispetto alla loro attività precedente.

Questi interventi modificano anche la popolazione microbica che vive nell'apparato digerente, in modo da regolare ulteriormente l'invio di segnali lungo l'asse intestino-cervello e contribuire a nuove e più sane abitudini alimentari.

I microbi intestinali potrebbero avere un ruolo nell'obesità. L'intervento per il bypass gastrico può causare cambiamenti duraturi nelle popolazioni microbiche del sistema digerente.

Science Source

la chirurgia bariatrica coinvolge e può modificare ognuno di questi sistemi. In questo processo, aiuta i ricercatori stabilire una mappa di questa complicata interazione e di come essa manipola i nostri comportamenti alimentari, i craving e la ricerca spasmodica di calorie nei momenti di fame. Questo lavoro potrebbe anche rivelare nuovi bersagli – tra cui i microbi e magari il cervello stesso – che renderanno obsoleta questa rischiosa procedura chirurgica.

Il dialogo tra intestino e cervello

Chi di noi non ha mai sentito gli effetti fisici della comunione intestino-cervello: le farfalle nello stomaco che arrivano con l'amore, i brontolii che scaturiscono prima di tenere un discorso. Queste manifestazioni derivano da segnali inviati dal cervello al tratto gastrointestinale, tramite ormoni e segnali neuronali.

E a sua volta l'intestino invia segnali di ritorno al cervello. Il nostro addome è percorso dal sistema nervoso enterico, conosciuto familiarmente come «secondo cervello». Questa rete neuronale contribuisce a controllare la digestione e la propulsione del cibo attraverso i 9 metri del nostro tratto gastrointestinale; comunica poi direttamente col cervello tramite il nervo vago, che collega il cervello con molti dei nostri organi più importanti.

L'appetito è regolato da due vie principali intestino-cervello. Entrambi i sistemi coinvolgono una piccola regione al centro del cervello, l'ipotalamo, una fucina di produzione di ormoni che controlla numerosi processi corporei. Il primo sistema entra in gioco durante il digiuno. Lo stomaco secerne grelina, un ormone che stimola il nucleo arcuato, una regione interna all'ipotalamo. Questa struttura rilascia poi il neuropeptide Y, un neurotrasmettitore che a sua volta attiva i centri dell'appetito nella corteccia cerebrale – i ripiegamenti esterni del cervello – spingendoci alla ricerca di cibo. In previsione dell'ora del pasto, il cervello invia un segnale allo stomaco attraverso il nervo vago, preparandolo alla digestione. «Tutto questo può accadere semplicemente alla vista, all'odore o al pensiero del cibo», spiega Andres Acosta Cardenas, gastroenterologo ed esperto di obesità alla Mayo Clinic di Rochester, negli Stati Uniti. «Il cervello prepara il corpo per il pasto».

La seconda via intestino-cervello reprime il nostro appetito. Quando mangiamo, diversi altri ormoni, tra cui leptina e insulina, sono secreti dal tessuto adiposo, dal pancreas e dal tratto gastrointestinale. Separatamente, questi ormoni svolgono molti ruoli nella digestione e nel metabolismo. Agendo insieme, inviano verso un'altra area dell'ipotalamo i segnali che stiamo diventando sazi. Il nostro cervello ci dice di smettere di mangiare.

Il ciclo dell'appetito e della sazietà riecheggia di continuo. Ma le vie della fame interagiscono anche con regioni del cervello come l'amigdala, coinvolta nelle emozioni, e come l'ippocampo, il centro cerebrale della memoria. I nostri «sentimenti di pancia» e i «cibi consolatori» sono dunque guidati più dagli umori che dagli orari dei pasti o da reminiscenze nostalgiche della torta della nonna. Come conseguenza di processi mentali superiori, oggi il cibo ha un contesto. Il cibo è cultura. Come si espresse il commediografo irlandese George Bernard Shaw, «non esiste amore più sincero di quello per il cibo».

C'è poi il brivido edonistico del sedersi a tavola. Il mangiare attiva i circuiti della ricompensa, spingendoci a mangiare per il piacere, un piacere indipendente dal fabbisogno di energia. Per molti

scienziati, è questo ramo dell'asse intestino-cervello che contribuisce all'obesità.

Gli studi con *neuroimaging* confermano che – proprio come sesso, droghe e gioco d'azzardo – il cibo causa un'ondata di rilascio di dopamina nei circuiti cerebrali della ricompensa. Questa attività del neurotrasmettitore agisce da potente motivatore, che può rinforzare il pasto fine a se stesso più che per il sostentamento. Si è scoperto nei topi che il dolce supera addirittura la cocaina quanto a desiderabilità. La psichiatra Nora Volkow, direttrice dello statunitense National Institute on Drug Abuse, ha confermato nell'essere umano quello che gli amanti del cioccolato sanno ovunque nel mondo: gli effetti di questo cibo sul sistema della ricompensa vanno oltre la sazietà e ci motivano a continuare a mangiare. Queste scoperte suggeriscono una sovrapposizione neurobiologica tra dipendenza ed eccesso di cibo, sebbene il fatto che il mangiare sia una vera e propria dipendenza rimanga ancora una questione controversa.

La soluzione chirurgica

Grazie al flusso di ormoni messaggeri e di neurotrasmettitori, la nostra mente e il nostro stomaco comunicano incessantemente. Interrompere questa conversazione, come devono fare le procedure bariatriche, avrà quindi conseguenze.

La ricerca ha dimostrato che, nei giorni e nelle settimane che seguono gli interventi bariatrici, i cibi dolci, grassi e salati diventano meno gustosi (come ha scoperto Teresa). In uno studio pubblicato nel 2010 da Hans-Rudolf Berthoud, neurobiologo della Louisiana State University, si è scoperto che, dopo un intervento di *bypass* gastrico, i topi perdevano la loro preferenza per una dieta ricca di grassi. Negli anni novanta molti gruppi di ricerca avevano riferito che, dopo interventi del genere, i pazienti perdevano spesso il desiderio di consumare cibi dolci e salati. Più di recente, uno studio del 2012, effettuato da un gruppo della statunitense Brown University, ha scoperto che, dopo un intervento bariatrico, i pazienti adulti avevano un desiderio significativamente ridotto di dolci e cibo da fast food. Risultati simili sono stati ottenuti in uno studio del 2015 in pazienti chirurgici adolescenti.

Il mutamento nel desiderio e nel gusto potrebbe essere causato da variazioni nel rilascio e nella ricezione dei neurotrasmettitori nel sistema intestino-cervello. Nel 2016 Berthoud e colleghi hanno scoperto che nel breve termine – intorno ai dieci giorni dopo l'intervento – la chirurgia bariatrica effettuata su topi aumentava l'attività neurale indotta dai pasti in regioni cerebrali che, sappiamo, comunicano con l'intestino, rispetto all'attività cerebrale prima dell'intervento. In particolare, l'incremento di attività era stato osservato in una connessione che collega neuroni di percezione dello stomaco, situati nel tronco encefalico, al nucleo parabrachiale, una parte del sistema di ricompensa del cervello, come pure all'amigdala.

Un esperto del settore è il biochimico Richard Palmiter, dell'Università di Washington. In uno studio pubblicato su «Nature» nel 2013 il suo gruppo di ricerca ha usato complesse tecniche genetiche e di stimolazione cellulare – inclusa l'optogenetica, un mezzo per controllare il tessuto vivente con la luce – per attivare o per silenziare neuroni specifici nella via del nucleo parabrachiale, nel tronco cerebrale di topi. I ricercatori hanno scoperto che coinvolgere questo circuito riduceva drasticamente l'assunzione di cibo. Eppure, disattivarlo rendeva il cervello insensibile al cocktail di ormoni che segnalavano in genere il senso di sazietà; i topi continuavano quindi a mangiare.

Gli studi di Palmiter suggeriscono che l'attivazione della via parabrachiale nel tronco cerebrale contribuisca a tenere a bada l'appetito. Essendo la stessa via che si attiva insolitamente dopo l'intervento, è probabile che l'iperattivazione scoperta da Berthoud faccia parte del lavoro dell'intestino-cervello nel valutare la soddisfazione post-intervento. Come spiega lui stesso, «il cervello deve imparare di nuovo a essere soddisfatto con porzioni più piccole».

In altre parole, la chirurgia bariatrica è certamente un cambiamento meccanico: con meno spazio il corpo deve adattarsi. Ma è chiaro che la storia non finisce qui. Dopo la procedura, una quantità maggiore di cibo indigerito potrebbe raggiungere l'intestino, per poi attivare – ipotizza Berthoud – una risposta ormonale che allerta il cervello a ridurre l'assunzione di cibo. Nel farlo, modificherebbe l'attività del cervello come risposta all'assunzione di cibo. Se ha ragione, il successo dell'intervento chirurgico – almeno nel breve termine – potrebbe essere in relazione tanto ai suoi effetti sull'asse intestino-cervello quanto alla grandezza dello stomaco del soggetto.

La mente microbica

Un altro protagonista nelle complesse comunicazioni tra mente e intestino potrebbe spiegare gli effetti della chirurgia bariatrica. Gli esperti hanno coinvolto il microbiota – i miliardi di organismi unicellulari che si danno da fare nel nostro sistema digerente – in innumerevoli disturbi, molti dei quali influenzano il cervello. Si pensa che i nostri coabitanti e il loro genoma, il «microbioma», contribuiscano all'autismo, alla sclerosi multipla, alla depressione e alla schizofrenia comunicando con il cervello, sia indirettamente tramite gli ormoni e il sistema immunitario sia direttamente con il nervo vago.

Grazie al flusso di ormoni messaggeri e di neurotrasmettitori, la nostra mente e il nostro stomaco comunicano tra loro in modo incessante

Una ricerca del gastroenterologo Lee Kaplan, direttore del Massachusetts General Hospital Weight Center, suggerisce che il microbiota potrebbe avere un ruolo nell'obesità. In uno studio pubblicato nel 2013 su «Science Translational Medicine», Kaplan e colleghi avevano trasferito il microbiota intestinale di topi sottoposti a bypass gastrico ad altri topi che, invece, non erano stati operati. Mentre il gruppo operato aveva perso circa il 30 per cento del peso corporeo, i topi trapiantati avevano perso un pur sempre significativo 5 per cento del loro peso. In parallelo, un gruppo di controllo, che non è stato sottoposto all'intervento, non aveva registrato una significativa variazione di peso. Il fatto che i roditori possano perdere peso senza interventi chirurgici, semplicemente ricevendo microbi dai loro compagni operati, suggerisce che queste popolazioni di microbi siano almeno in parte responsabili della efficacia delle procedure bariatriche.

Uno studio simile, pubblicato nel 2015 da Fredrik Bäckhed, biologo dell'Università di Göteborg, in Svezia, ha riscontrato che due tipi di intervento bariatrico – il bypass gastrico Roux-en-Y e la gastroplastica verticale – hanno prodotto cambiamenti duraturi nel

microbiota dell'intestino umano. Questi cambiamenti potrebbero essere spiegati da molteplici fattori: da schemi alimentari modificati dopo l'intervento; da livelli di acidità nel tratto gastrointestinale; e dal fatto che, con il bypass, il cibo indigerito e la bile (il fluido digestivo verde palude secreto dal fegato) entrano nell'intestino più a valle.

Nell'ambito della stessa ricerca, Bäckhed e i colleghi hanno alimentato campioni di microbiota di topo da pazienti umani obesi che erano stati, o meno, operati. Tutti i roditori hanno assunto gradi variabili di grasso corporeo, ma i topi colonizzati con il microbiota post-chirurgico ne hanno assunto il 43 per cento in meno.

In che modo i cambiamenti della nostra flora intestinale potrebbero modificare le loro interazioni con l'asse intestino-cervello e influenzare il peso? Sebbene la risposta sia ancora incerta, alcuni indizi sono promettenti. Popolazioni specifiche di microbi intestinali possono innescare segnali ormonali e neuronali verso il cervello e così influire sullo sviluppo dei circuiti neurali coinvolti nel controllo motorio e nell'ansia. Bäckhed suppone che la flora intestinale dopo l'intervento bariatrico abbia un effetto comparabile sulle regioni cerebrali associate con craving e appetito.

Anche un neurotrasmettitore come la serotonina potrebbe avere un ruolo speciale. Circa il 90 per cento della serotonina del nostro corpo è prodotta nell'intestino, e nel 2015 ricercatori del California Institute of Technology hanno riferito che almeno una parte di questa produzione dipende dai microbi. Se cambiano i microbi, cambia la produzione di serotonina. E questo potrebbe fare una bella differenza. Infatti, come è stato confermato da numerose ricerche, stimolare i recettori cerebrali della serotonina può ridurre significativamente l'aumento di peso nei roditori e nell'essere umano.

Alcuni risultati sostengono la teoria secondo cui la causa e il trattamento ideale dell'obesità sono molto probabilmente unici per ciascun paziente

Trattare l'asse intestino-cervello

È una svolta positiva del destino che proprio la chirurgia bariatrica ci indichi nuove direzioni nel trattamento dell'obesità, che colpisce più di 600 milioni di persone in tutto il mondo. Alcuni di questi percorsi potrebbero rendere obsoleta la chirurgia, o almeno riservarla ai casi più estremi. Così, in prima linea nella battaglia contro il peso eccessivo potrebbe esserci lo sfruttamento dell'asse intestino-cervello.

Per esempio, nel 2015 la statunitense Food and Drug Administration ha approvato un dispositivo che stimola il nervo vago per soffocare il desiderio di cibo. Un chirurgo impianta nell'addome il congegno – formato da un generatore di impulsi elettrici e da elettrodi – che trasmette una corrente elettrica al nervo vago. Sebbene non sappiamo di preciso come funzioni, lo studio che ha portato alla sua approvazione ha trovato che i pazienti trattati per un anno con questo strumento avevano perso l'8,5 per cento in più del peso in eccesso, rispetto ai pazienti senza il dispositivo.

Questo metodo offre ad alcuni pazienti un'alternativa meno invasiva alla chirurgia bariatrica, sebbene per ora gli stimolatori del nervo vago non siano efficaci come molte altre terapie dell'obesità. Intanto, alcuni intrepidi neurochirurghi stanno valutando l'uso di una tecnica, la stimolazione cerebrale profonda. Approvata per l'uso nel morbo di Parkinson e nel disturbo ossessivo-compulsivo, la procedura prevede la stimolazione di specifiche regioni cerebrali usando elettrodi impiantati. Sebbene questa ricerca sia ai primi passi, numerose regioni cerebrali implicate nel controllo dell'appetito sono esplorate come possibili bersagli.

Acosta Cardenas, della Mayo Clinic, crede che in futuro la strada migliore per trattare l'obesità sarà altamente personalizzata. «L'obesità è una malattia dell'asse intestino-cervello – spiega – ma penso che, per personalizzare il trattamento, dovremo identificare quale parte dell'asse è anormale in ciascun paziente. Sto cercando di identificare quali pazienti hanno un problema con il microbioma, o con gli ormoni o con la fame nervosa, o emotiva, affinché la risposta al trattamento sia massima».

Nel 2015 Acosta Cardenas ha esaminato con i colleghi numerosi fattori potenzialmente legati all'obesità in più di 500 pazienti di peso normale, in sovrappeso e obesi. Alcuni dei fattori erano: la rapidità con cui i partecipanti allo studio diventavano sazi, la rapidità con cui il loro stomaco si svuotava, e come i livelli di ormoni fluttuavano in risposta al cibo e ai tratti psicologici. I risultati di Acosta Cardenas sostengono la teoria secondo cui esistono chiare sottoclassi di obesità e che la sua causa e il suo trattamento ideale siano molto probabilmente unici per ciascun paziente. Per esempio, nel suo studio il 14 per cento delle persone obese ha una componente comportamentale, o emotiva, che sposterebbe le sue raccomandazioni di trattamento dall'intervento chirurgico e dai farmaci verso una terapia comportamentale. Acosta Cardenas prefigura poi un futuro in cui lui stesso potrebbe prescrivere un probiotico o un antibiotico per i pazienti obesi che hanno un microbiota anormale.

Non possiamo ancora dire per certo quali perturbazioni dell'asse intestino-cervello abbiano causato l'aumento di peso di Teresa. È chiaro, però, che lei ha tratto vantaggio dall'intervento, avendo conservato il suo peso desiderato di 72 chilogrammi, almeno nei quattro anni successivi.

I piedi non le fanno più male. Ha più energia. Riesce a stare dietro a suo figlio. E sebbene ammetta che certi forti desideri abbiano di nuovo fatto capolino negli anni, non sono intensi come un tempo e sono molto più gestibili.

«Prima di operarmi non avevo controllo su di me. Non riuscivo a trattenermi», ricorda Teresa. «Ora se arrivano in tavola patatine fritte potrei prenderne un po', ma non devo privarmi. Semplicemente non ho più la spinta a mangiare in quel modo. E inevitabilmente mangerò metà del mio pasto». ■

PER APPROFONDIRE

Conserved Shifts in the Gut Microbiota Due to Gastric Bypass Reduce Host Weight and Adiposity. Liou A. P. e altri, in «Science Translational Medicine», Vol. 5, n. 178, articolo 178ra41, marzo 2013.

Roux-en Y Gastric Bypass and Vertical Banded Gastroplasty Induce Long-Term Changes on the Human Gut Microbiome Contributing to Fat Mass Regulation. Tremaroli V. e altri, in «Cell Metabolism», Vol. 22, pp. 228-238, 4 agosto 2015.

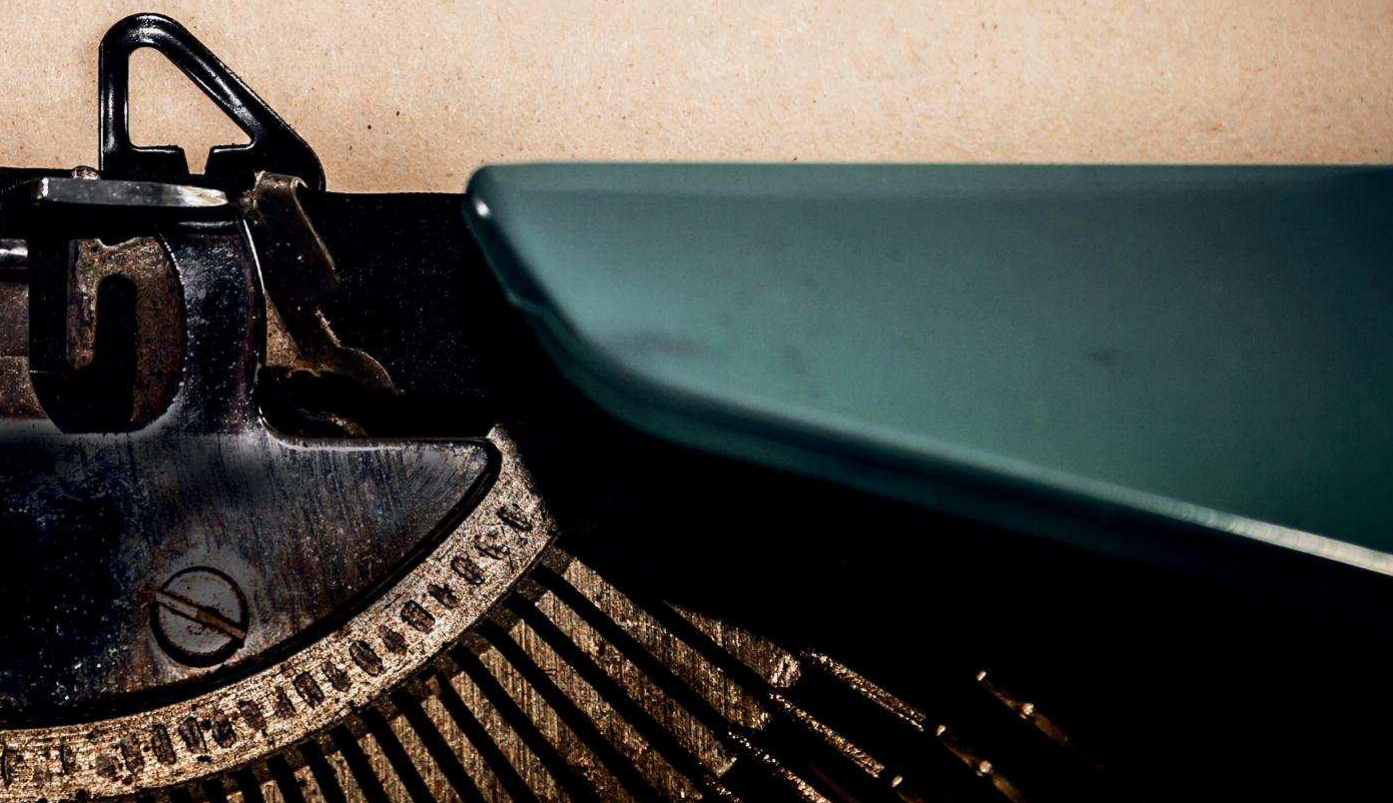
Eating in Mice with Gastric Bypass Causes Exaggerated Activation of Brainstem Anorexia Circuit. Mumphrey M. B. e altri, in «International Journal of Obesity», Vol 40, n. 6, pp. 921-928, giugno 2016.

EVOLUZIONE CULTURALE

Una fiaba delle fiabe

La diffusione di racconti tra gruppi umani e la genetica di popolazioni forniscono indizi sulle modalità di trasmissione culturale e sulle migrazioni

di Eugenio Bortolini e Luca Pagani

Sarà senza dubbio capitato a molti di vedere la celeberrima trasposizione cinematografica di *Cenerentola* realizzata dalla Disney, sicuramente meno cruenta della versione codificata dai fratelli Grimm solo cent'anni prima. Com'è possibile che basti lo spazio di quattro generazioni per trasformare una fiaba originale in qualcosa di diverso, ma non abbastanza da assumere un'identità propria? Quali sono i meccanismi alla base di questi cambiamenti? Cominciamo ad approfondire l'argomento partendo dall'osservare come si diffondono le nostre conoscenze.

guvendemir/iStock

Quando visitiamo un museo che illustra la nostra evoluzione come specie *Homo sapiens*, è facile notare che da un certo punto in poi smettiamo di considerare i nostri «antenati» alla pari di scimmie antropomorfe e cominciamo invece a identificarci con loro. Probabilmente la causa principale di questa immedesimazione è che a partire da circa 300.000 anni fa, in varie aree dell'Africa e successivamente in Eurasia, abbiamo trasferito una parte della nostra risposta ai meccanismi di selezione al di fuori dell'organismo, sfruttando la nostra capacità di interazione con l'ambiente e con gli altri membri del nostro gruppo. Questo complicato processo si può riassumere in un'unica parola: cultura.

Come altre specie, ma in modo più marcato, gli esseri umani sono caratterizzati da un doppio processo di adattamento che è biologico e culturale allo stesso tempo. Questi due aspetti sono inscindibili e, pur con meccanismi talvolta differenti, sono saldamente intrecciati a formare la tela della nostra storia sia remota sia recente. Individuare la struttura di questa tessitura isolando i singoli intrecci bio-culturali che caratterizzano il nostro passato è un'operazione complessa che richiede la collaborazione di molte persone con competenze differenti: dalla genetica di popolazioni all'antropologia fisica, dall'archeologia all'antropologia culturale, dalla biologia teorica all'epistemologia, dalla psicologia alla medicina.

Movimenti di persone e di idee

L'indagine della coevoluzione tra aspetti biologici e culturali ha da poco compiuto trent'anni, e affonda le sue radici nei pionieristici lavori di Luigi Luca Cavalli-Sforza e Marcus Feldman, al tempo entrambi alla Stanford University; in quei lavori si inaugurava un approccio quantitativo per lo studio dei meccanismi di trasmissione della cultura, mutuando modelli, ipotesi e metodi dalla genetica di popolazioni. L'approccio è stato poi ripreso in ambito antropologico da Robert Boyd, dell'Università della California a Los Angeles, e Peter Richerson, dell'Università della California a Davis, e ulteriormente sviluppato in anni più recenti nelle discipline più disparate: dall'archeologia alla psicologia, dall'economia alla storia della musica e alle scienze sociali.

In questi anni l'interesse di questo ambito di studi, conosciuto a livello internazionale con il nome di Dual Inheritance Theory o «teoria dell'evoluzione culturale», si è sviluppato soprattutto su tre filoni: analisi dei meccanismi responsabili del cambiamento nel tempo della frequenza di elementi e di varianti culturali; relazione e interdipendenza tra evoluzione genetica ed evoluzione culturale; meccanismi di diffusione della cultura nel tempo e nello spazio.

Quest'ultimo filone, in particolare, si basa su una premessa semplice ed efficace: il nostro presente e il nostro passato più prossimo sono ampiamente caratterizzati da fenomeni migratori. Le cause di questi fenomeni sono le stesse da sempre, anche nella tragicità dei casi attuali: pressione demografica, guerra, mancanza di risorse, cambiamento climatico e ambientale a varia scala, occupazione di territori da parte di altri gruppi. Quando si innesca un processo di questo tipo, il movimento di grandi masse che ne consegue produce anche un ingente movimento di idee, concetti, parole, suoni, sapori, oggetti e usi. In altre parole, chi si mette in cammino per stabilirsi altrove porta con sé tutta la propria vita, e la propria cultura segue letteralmente il percorso dettato dai suoi piedi.

Eugenio Bortolini è ricercatore in metodologie della ricerca archeologica al Dipartimento di beni culturali dell'Universitá di Bologna. Si interessa di trasmissione culturale, coevoluzione geni-cultura e archeologia.

Luca Pagani è ricercatore in antropologia molecolare al Dipartimento di biologia dell'Universitá di Padova. Si interessa di antropologia molecolare e genetica di popolazione.

Abbiamo molti esempi di questo meccanismo a livello archeologico, come l'arrivo dei primi esseri umani moderni in Italia più di 40.000 anni fa o l'introduzione delle specie coltivate e delle tecnologie legate ad agricoltura e allevamento in Europa occidentale circa 8000 anni fa. Ci sono ovviamente casi più recenti, in cui possiamo osservare da un lato il processo di diffusione e dall'altro un processo di evoluzione nell'area di origine della migrazione.

L'attualità è ricca di esempi simili, anche in ambito culinario. Esempi interessanti sono le varie declinazioni locali e internazionali della pizza, l'arrivo del *tempura* in Giappone (forse portata proprio dai Gesuiti), oppure il non molto apprezzato (in Italia) *parmesan cheese* statunitense, forse più prossimo alle ricette dei migranti italiani di due secoli fa di quanto non lo siano le versioni più ricercate che possiamo gustare oggi nel nostro paese, come ha sottolineato Alberto Grandi, professore associato all'Università di Parma e studioso di storia dell'alimentazione, in una recente analisi critica riguardo al «made in Italy».

Oltre al ruolo indiscutibile svolto dalle migrazioni umane, si è cercato di comprendere più a fondo se fosse possibile individuare tracce di una diffusione puramente culturale delle informazioni. Un processo, dunque, che non necessiti del movimento di grandi gruppi di persone per far viaggiare una nozione o una parola attraverso distanze geografiche enormi: una specie di passaparola, o di «telefono senza fili» che coinvolga interi segmenti di popolazioni. Un possibile modello di diffusione interamente culturale, cioè alternativo a un modello «di diffusione demica» che ha come unico motore il succedersi di migrazioni, è stato individuato an-

IN BREVE

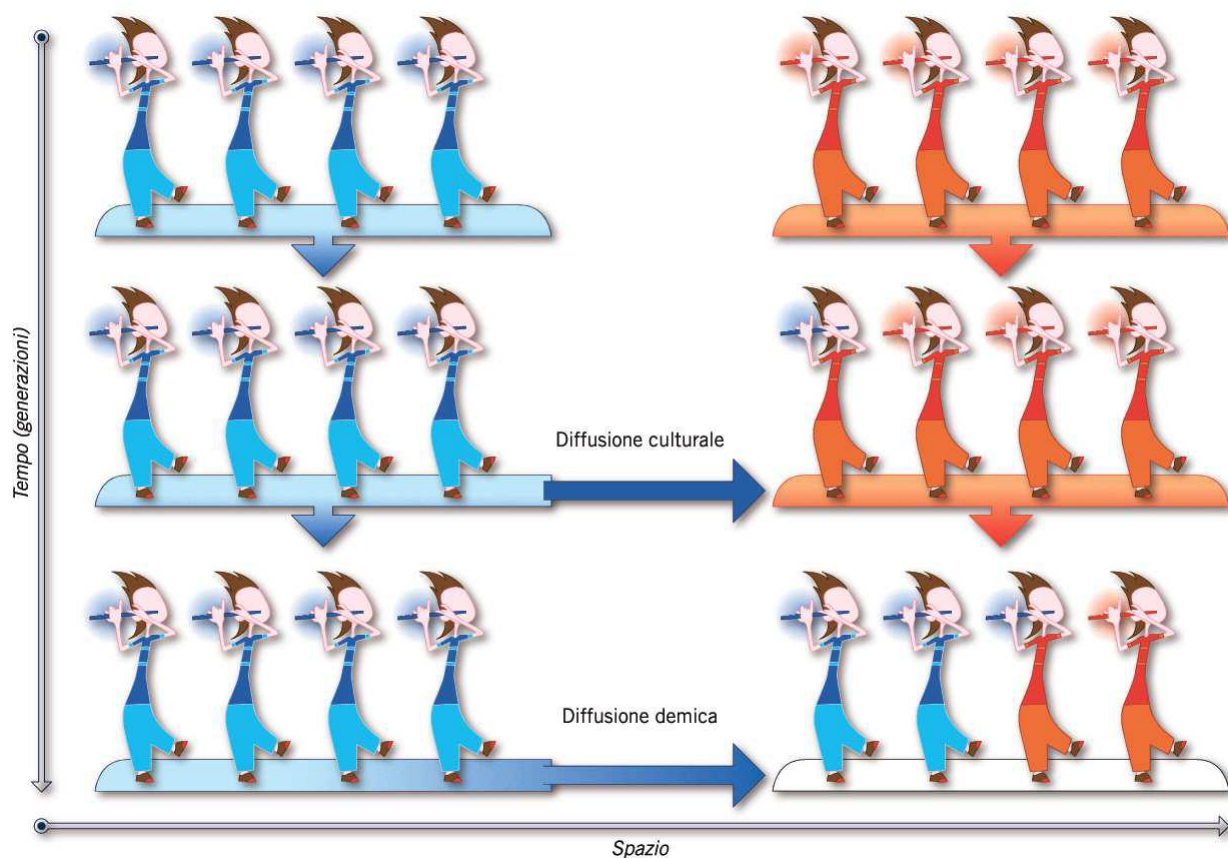
Con le migrazioni si spostano le persone, ma anche idee, concetti, parole, suoni, sapori, oggetti e usi dei migranti, che così alimentano una trasmissione culturale tra gruppi umani geograficamente distanti.

Un altro meccanismo di trasmissione su grandi distanze non prevede lo spostamento di persone: in questo scenario la trasmissione culturale avverrebbe tramite una sorta di passaparola tra gruppi vicini.

Gli autori hanno misurato quanto ciascuno dei due scenari sia in grado di spiegare la diffusione di fiabe in Europa e Asia sfruttando la genetica di popolazioni. I risultati mostrano un effetto delle migrazioni a bassa scala geografica e un effetto maggiore del passaparola a lungo raggio.

Diffusione culturale o diffusione demica?

La diffusione di qualunque informazione culturale è sottoposta a un meccanismo ibrido che include sia l'effetto delle migrazioni di interi segmenti di popolazione (diffusione demica) sia la possibilità che le idee (incluse le loro manifestazioni materiali) possano essere scambiate e possano diffondersi senza che i loro portatori percorrano necessariamente grandi distanze (diffusione culturale). Il primo caso è intuitivo: le idee, come i geni, seguono i piedi delle persone. Ma come possiamo creare un modello su cui testare l'impatto del secondo processo?
Dobbiamo immaginare un meccanismo di trasmissione graduale, tra popolazioni vicine da un punto di vista geografico. Di passaggio in passaggio, l'elemento culturale riesce così a viaggiare anche per lunghe distanze, in un modo che somiglia molto a un «passaparola» di dimensioni addirittura continentali. A ogni passaggio, però, l'informazione subisce leggere modifiche, o «mutazioni», dovute a preferenze, contesti ideologici o barriere culturali presenti nelle popolazioni che la ricevono. A volte questi cambiamenti sono repentini e vanno attribuiti a «errori» inconsapevoli o a licenze poetiche.
La conseguenza è intuibile: lasciando passare abbastanza tempo, e diffondendosi su distanze geografiche sufficientemente ampie, otteniamo una distribuzione «a gradiente» delle varianti culturali. Questo significa che la somiglianza culturale tra l'area di origine e le aree circostanti diminuisce gradualmente con l'aumentare della distanza geografica, e che due gruppi umani più vicini nello spazio tenderanno a essere più simili culturalmente tra loro rispetto a coppie di gruppi molto più distanti.

Illustrazione di Danilo Sossi su indicazione degli autori

cora una volta partendo da premesse teoriche sviluppate in ambito genetico per studiare la distribuzione nel tempo e nello spazio di varianti culturali non sottoposte a selezione (*si veda il box in questa pagina*).

Patrimoni individuali e collettivi

Un interessante caso di studio per approfondire la differenza fra i processi di diffusione demica e quelli di diffusione culturale è rappresentato dalle fiabe. Le fiabe affondano le proprie radici nella nostra infanzia e nelle origini stesse dei gruppi umani di cui facciamo parte. Sono una componente fondamentale del nostro patrimonio sia individuale sia collettivo, e dicono sicuramente qualcosa su di noi, sulla nostra storia, sulla ricorrenza di temi e strutture del pensiero fondamentali e universali. Tutte le culture hanno e hanno avuto fiabe. Dunque tutti gli esseri umani dispongono di un «corredo» di fiabe conosciute; allo stesso modo tutti gli esseri umani hanno un corredo genetico. Ecco perché confrontare queste due evidenze è un'ottima strategia per capire qualcosa di più sulla distribuzione delle somiglianze e delle differenze che possiamo osservare nel mondo da un punto di vista biologico e culturale allo stesso tempo. Inoltre, le fiabe potrebbero essere un'ottima chiave per capire i meccanismi di diffusione della cultura sulla Terra, fin dalle nostre origini.

Quando ci spostiamo e trasferiamo la nostra casa – che sia per

una breve o lunga distanza – portiamo con noi le storie della nostra infanzia. Ma questo è vero anche a livello di popolazione? Ed è sempre stato così?

Ricercatori, etnologi e folkloristi si sono interrogati a lungo sulle cause alla base delle somiglianze e delle differenze, nonché della continuità nel tempo, esibita dalle tradizioni orali legate a fiabe tipiche delle diverse aree del globo. Da tempo l'approccio comparativo (scientifico) nell'ambito degli studi sul folklore insiste sulla possibilità di classificare le fiabe in tipi internazionali, i quali tuttavia varierebbero con un certa fluidità nel tempo e nello spazio.

Già molto tempo fa, la pubblicazione della raccolta di fiabe popolari più famosa da parte dei fratelli Jacob Ludwig e Wilhelm Karl Grimm – *Le fiabe del focolare* (la prima edizione italiana è del 1897) – aveva riaperto l'interesse a lungo sopito del grande pubblico, e di gran parte del mondo accademico nei confronti delle storie nate e circolanti nei contesti popolari dell'Europa occidentale e orientale, dando grande impulso alla raccolta etnografica. Delle prove più varie, senza dubbio la scoperta più intrigante derivata da quello sforzo diffuso è stata la ricorrenza degli stessi temi, strutture narrative e personaggi in gruppi umani molto lontani dal punto di vista geografico e antropologico (per esempio molte storie considerate eminentemente «europee» sono state invece identificate in varie zone dell'Asia sia centrale sia occidentale).

La ricorrenza ha permesso di formulare diverse ipotesi sulla distribuzione da un lato delle storie, dall'altro dei loro elementi costitutivi. Le ipotesi più frequenti riguardano ovviamente una possibile origine comune di storie simili in aree diverse, ma non mancano le ipotesi sui vari meccanismi di trasmissione tra una popolazione e l'altra.

La distanza genetica

Per capire se una fiaba, oppure un insieme di fiabe, si sia diffusa come un gigantesco passaparola o invece sia stata trasportata come un «bagaglio culturale» tramite i movimenti delle popolazioni umane, è importante innanzitutto rintracciare gli spostamenti avvenuti da quando la nostra specie si è espansa per la prima volta fuori dall'Africa, circa 60.000 anni fa. A questo scopo è utile esaminare il DNA.

Questa molecola si trova nel nucleo delle nostre cellule, è trasmessa di generazione in generazione ed è la fonte principale di informazioni biologiche, ma anche di quelle storiche. Nel passaggio tra una generazione e la successiva il DNA è copiato da proteine che a volte commettono errori generando piccole mutazioni (non pensate male, la maggior parte delle mutazioni non ha alcun effetto sul benessere del portatore). Il numero di mutazioni accumulate è quindi proporzionale al numero di generazioni che sono trascorse in questa staffetta generazionale. Confrontando il DNA di due individui e contandone le mutazioni è possibile capire più o meno da quante generazioni sono separati, ovvero quanto sono «imparentati» i due individui in termini di discendenza genetica (o in termini filogenetici).

Molto spesso le popolazioni umane tendono a mescolarsi in modo inversamente proporzionale alla loro distanza geografica, seguendo un processo chiamato «isolamento da distanza»; questo processo è dovuto al fatto che le relazioni umane si stabiliscono generalmente a scala locale, non a scala continentale, e al fatto che i movimenti di popolazione ad ampio raggio, quando avvengono, non stravolgono il patrimonio genetico delle popolazioni preesistenti, a meno che non siano causati da vere e proprie rivoluzioni. Questo isolamento può essere dunque misurato confrontando il DNA di coppie di individui che fanno parte di gruppi umani che vivono, per esempio, in vari luoghi del continente eurasiatico e osservando come il numero di differenze genetiche aumenti con l'aumentare della distanza geografica fra individui. Una volta capita la storia «demica» delle nostre popolazioni, potremo chiederci se spieghi anche il numero di fiabe condivise dalle stesse popolazioni.

Abbiamo però un problema. Se le fiabe si sono diffuse seguendo «le persone» (diffusione demica), allora dovremmo aspettarci che il numero di fiabe condivise da due individui sia tanto più elevato quanto più grande è la loro somiglianza genetica (quindi quanto più vivono vicini). In questo caso la condivisione delle fiabe è inversamente proporzionale alla distanza geografica tra individui.

Il modello opposto, ovvero la diffusione culturale (il passaparola), prevede purtroppo qualcosa di simile: le fiabe conosciute da una data popolazione possono essere tramandate di bocca in bocca con un'accuratezza che è anch'essa inversamente proporzionale al «numero di bocche» che servono per arrivare da una popolazione all'altra (proprio come accade nel gioco del telefono senza fili). Dunque, anche in questo caso il numero di fiabe condivise da due popolazioni è inversamente proporzionale alla geografia. Come uscirne?

EFFETTI DELLE LINGUE

Barriere alla diffusione

Lo scambio genetico, culturale e commerciale è mediato, in tempo di pace, dal linguaggio verbale. Affinità o divergenza linguistica possono costituire rispettivamente un canale preferenziale o una barriera alla mescolanza delle popolazioni umane. Ma come possiamo misurare l'affinità linguistica e usarla come stima della presenza o assenza di «barriere» fra due gruppi umani? La linguistica è alla ricerca di un metodo per confrontare lingue che appartengano alle famiglie linguistiche più disparate e che, quindi, abbiano davvero pochi tratti in comune. Ma al momento non c'è un metodo condiviso per misurare le distanze fra lingue di famiglie linguistiche diverse.
D'altra parte, però, alcuni studi pionieristici sembrano indicare che le barriere linguistiche siano un dato di fatto nelle dinamiche di interazione umana. Per portare avanti il nostro studio abbiamo quindi fatto ricorso a un metodo empirico che, partendo solo dall'appartenenza a famiglie linguistiche diverse, potesse stimare l'effetto di queste barriere sulla trasmissione delle informazioni genetiche e delle fiabe da una popolazione all'altra.
Questo metodo ha ovvie limitazioni, per esempio considerare che tutte le lingue indoeuropee (dal portoghese all'hindi!) siano mutuamente comprensibili. Consapevoli di queste limitazioni, speriamo che questo sforzo possa servire da incentivo alla linguistica per sviluppare al più presto un metodo condiviso per il confronto del maggior numero delle lingue parlate dai vari gruppi umani.

Spesso le popolazioni si mescolano in modo inversamente proporzionale alla loro distanza geografica

Dalla Grecia alla Spagna. Un passaggio delle favole di Esopo, originarie del VII-VI secolo a.C., in un libro del XV-XVI secolo d.C. custodito nella Biblioteca del Seminario di Pamplona.

Melba Photo Agency/Alamy Stock Photo

Fortunatamente nessuna di queste relazioni è «perfetta». In altre parole, ci saranno sempre popolazioni la cui distanza genetica è maggiore o minore della loro distanza geografica, e lo stesso si verifica per il numero di fiabe condivise. Queste «imperfezioni» sono dovute a spostamenti umani relativamente recenti o a particolari «antipatie» fra gruppi confinanti, che hanno prodotto distorsioni nell'ipotetica simmetria tra spazio e genetica che abbiamo descritto.

Allora possiamo cercare di capire se la trasmissione delle fiabe sia avvenuta in maniera prevalentemente demica o prevalentemente culturale sfruttando proprio queste imperfezioni: quando due popolazioni sono «più simili» geneticamente rispetto alle previsioni della sola geografia (magari a causa di migrazioni recenti), che cosa possiamo dire delle fiabe? Il numero di quelle condivise è anch'esso maggiore di quanto previsto dalla geografia oppure è in linea con la loro distanza spaziale?

Dal primo caso (fiabe meglio descritte dai rapporti genetici di quanto non lo siano dalla distribuzione geografica) capiremmo che le fiabe preferiscono seguire il movimento delle persone. Dal secondo (fiabe più affini alla geografia di quanto non lo siano nei confronti della genetica) dedurremmo invece che movimenti recenti non hanno accelerato oppure rallentato la diffusione delle fiabe; in questo secondo caso, dunque, le fiabe seguono prevalentemente una diffusione di tipo culturale. Prima di passare a conclusioni affrettate vediamo quali dati abbiamo a disposizione e, soprattutto, se abbiamo davvero considerato tutte le variabili in gioco.

La distanza «fiabistica»

Da un punto di vista genetico, grazie alla rivoluzione genomica che permette di leggere l'intera molecola di DNA di un individuo a costi assai ridotti, possiamo fare affidamento su una mole molto vasta di dati per un numero di popolazioni umane in continua crescita. La forza della genomica, inoltre, ci permette di trattare singoli individui di una data popolazione come rappresentanti di quel gruppo umano. Infatti il DNA di ciascuno di noi non è altro che la somma dei vari contributi genetici ricevuti da un gran numero di nostri antenati. Possiamo trarre informazioni su una popolazione basandoci anche su un solo genoma umano, a patto che gli antenati recenti del proprietario del genoma provengano tutti (o in prevalenza) dalla stessa popolazione.

Per quanto riguarda le fiabe, invece, dobbiamo prima chiarire una cosa: se due popolazioni conoscono la fiaba di *Cappuccetto Rosso*, ma in un caso l'antagonista è il lupo e nell'altro c'è una tigre affamata al posto del lupo, possiamo dire che le due popolazioni conoscono la stessa fiaba? In altre parole: quale grado di somiglianza possiamo accettare per sancire la presenza o l'assenza di una fiaba in un gruppo umano? Questa domanda è ancora oggi oggetto di acceso dibattito tra gli studiosi di folklore. Per quanto ne sappiamo, l'opera di Antti Aarne e Stith Thompson pubblicata nel 1910, e poi arricchita da Hans-Jörg Uther nel 2004, è a oggi il catalogo più completo di presenza o assenza di un'ampia lista di fia-

be in un impressionante elenco di popolazioni umane. Come ogni elenco, anche questo non è esente da distorsioni, quindi è inevitabile che alcune aree del mondo siano state censite con maggiore accuratezza; ed è anche inevitabile che la distribuzione geografica di alcune fiabe già note agli autori sia stata esplorata con più cura rispetto a quella di fiabe che gli autori hanno scoperto durante la compilazione dell'opera.

Consapevoli di questo, è comunque possibile attenuare eventuali distorsioni eliminando fiabe che siano note a meno di cinque popolazioni in tutto il globo, o eliminando dallo studio popolazioni umane per le quali siano state censite meno di cinque fiabe (immaginate, in assenza di distorsioni, che noia possa essere stata la vita intorno al fuoco in quelle popolazioni...). Una volta filtrato, il catalogo può essere usato per calcolare una distanza «fiabistica» fra coppie di popolazioni, contando il numero di fiabe non condivise sul totale di fiabe note ad almeno una delle due popolazioni.

La distanza linguistica

Ora che conosciamo i rapporti genetici e quelli culturali fra le nostre popolazioni, dobbiamo introdurre una nuova variabile: la lingua. In effetti le fiabe, cioè l'oggetto del nostro studio, non sono altro che un bagaglio di nozioni che sfruttano un mezzo, la lingua, per poter essere trasmesse dall'oratore al suo pubblico.

Nel caso di una trasmissione demica, ovvero dai genitori ai figli o al massimo ai figli degli amici – anche in caso di spostamento fisico – probabilmente la lingua non costituisce un grosso ostacolo. Invece in caso di diffusione culturale, oltre i confini della popolazione d'origine, la differenza linguistica può generare una significativa battuta d'arresto anche per la più memorabile delle fiabe. Inoltre bisogna ricordare come le lingue possano agire da barriera (*si veda il box a p. 62*) anche alla trasmissione genetica, visto che l'incomunicabilità non favorisce certo la «vita di coppia». Per evitare che le barriere linguistiche influenzino i risultati dello studio è fondamentale trovare un modo per tenerle sotto controllo.

In questo caso siamo partiti di nuovo dall'idea che le distanze geografiche potessero descrivere bene distanze genetiche e numero di fiabe condivise fra due popolazioni (sia in caso di diffusione demica sia in caso di diffusione culturale). Abbiamo quindi ipotizzato che l'eventuale effetto delle barriere linguistiche fosse quello di aumentare le distanze genetiche o culturali fra popolazioni che potessero, comunque, essere sufficientemente vicine da poter scambiarsi geni o cultura (le differenze linguistiche fra italiani e giapponesi non sono certo state, più della distanza geografica, la causa degli scarsi contatti fra questi due popoli).

Dai dati in nostro possesso, possiamo quindi cercare di dedurre il raggio d'azione delle barriere linguistiche e il loro effetto sia sulle distanze genetiche che sulle distanze culturali. Una volta ottenute queste informazioni potremo procedere più serenamente ad analizzare i rapporti fra geni, cultura e geografia.

Doppia trasmissione

Innanzitutto, come è facile immaginare, abbiamo confermato l'ipotesi che le barriere linguistiche frenino maggiormente gli scambi culturali di fiabe, e che tale effetto sia visibile a distanze maggiori di quanto non accada con la mescolanza genetica fra popolazioni. Inoltre abbiamo scoperto che confronti diretti geni-cultura offrono poche informazioni per coppie di popolazioni che vivono a più di 6000 chilometri di distanza. A distanze maggiori, la correlazione fra geni e geografia è così elevata (per l'isolamento da distanza di cui parlavamo prima) che lascia poco margine per capire se la cultura possa comportarsi come i geni o sia soggetta a passaparola.

Dai fratelli Grimm. Da sinistra a destra: *Cappuccetto Rosso*; *Hansel e Gretel*; *Il tavolino magico, l'asino d'oro e il randello castigamatti*.

Per distanze inferiori a 6000 chilometri, però, notiamo qualcosa di interessante. Fino a 4000 chilometri di distanza, per coppie di popolazioni che vivono relativamente vicine, il numero di fiabe condivise va di pari passo con la vicinanza genetica, non con la distanza geografica. Quindi, se due popolazioni vivono molto vicine ma le loro affinità genetiche sono relativamente poche, anche il numero di fiabe condivise sarà basso. Al contrario, popolazioni lontane fra loro (sempre entro 4000 chilometri) ma che sono affini geneticamente condivideranno un alto numero di fiabe.

Sopra i 4000 chilometri questo fenomeno muta e il numero di fiabe condivise tende a seguire la geografia, più che la genetica. Popolazioni che vivono a distanze superiori a 4000 chilometri hanno un numero di fiabe in comune inversamente proporzionale alla loro lontananza geografica invece che alle loro affinità o divergenze genetiche.

In base a quanto ci siamo detti, sembrerebbe che le fiabe si diffondano seguendo le persone (quindi siano raccontate dai genitori ai figli, insomma in modo demico) solo entro i 4000 chilometri. Da questa distanza in poi una fiaba riesce a viaggiare solo se è passata, sempre di bocca in bocca, anche da persone non imparentate tra loro: se è quindi «copiata» dai vicini in modo culturale, per sentito dire. Ovviamente questi risultati sono validi e più marcati se consideriamo la presenza fondamentale delle barriere linguistiche.

Questa piccola avventura a cavallo (chissà se alato o parlante?) tra i nostri geni e le storie della nostra infanzia conferma che le fia-

THEPALMER/iStock (*questa pagina e quella a fronte*)

be sono parte di un patrimonio umano universale e collettivo, in grado di accomunarci e allo stesso tempo di farci comprendere la nostra diversità in qualità di individui appartenenti a gruppi umani sparsi nelle aree più disparate del globo. Proprio in virtù di queste loro qualità, le fiabe ci aiutano a capire concretamente e più a fondo i processi di lunga durata alla base della formazione delle varie culture che osserviamo oggi in Europa e Asia (continenti per cui avevamo tutti i dati disponibili per un confronto accurato).

In particolare abbiamo visto come queste storie e i temi che le caratterizzano possano essere una traccia efficace da seguire (proprio come le molliche di Pollicino...) per ripercorrere la traiettoria e valutare l'impatto delle migrazioni umane stratificatesi nel tempo. Il risultato fondamentale è un'idea più chiara dei processi di scambio e della commistione culturale che derivano dai movimenti migratori. Allo stesso tempo, lo studio che abbiamo descritto, e che abbiamo pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» nel 2017, apre le porte a possibili approfondimenti su direzione e intensità dei fenomeni di trasmissione della cultura che non necessitano del movimento di persone per diffondere un'idea.

Un aspetto interessante cerca di capire quali meccanismi impediscano questo flusso e scambio, per esempio l'emergere di barriere culturali di vario tipo (linguistiche, religiose e altro ancora) o la presenza di caratteristiche che rendono un contesto più o meno permeabile di altri all'adozione di nuove idee (conformismo, anticonformismo, preferenza per modelli prestigiosi interni a una società e così via), e che saranno oggetto di prossimi studi.

In questo momento rivoluzionario per la ricerca sull'umanità nelle sue più varie sfaccettature, gli studiosi dei tanti campi coinvolti dispongono di una quantità enorme di dati genetici con cui confrontare dati archeologici, fonti storiche, fossili e ipotesi sulle migrazioni e sull'evoluzione umana. Se da un lato questa offerta pone possibilità uniche, è importante capire fin da subito quali siano potenzialità e limiti di un uso diretto di misurazioni di distanza culturale e di distanza genetica. In molti contesti, archeologi, antropologi, biologi, genetisti, storici, psicologi, ecologi ed economisti collaborano per decifrare l'intreccio complesso di cui è fatta la nostra storia, consapevoli che se la trama è fatta di geni l'ordito è fatto della nostra cultura materiale e immateriale.

Questi due aspetti sono interdipendenti e il loro studio è l'unica chiave possibile per comprendere a fondo la nostra storia evolutiva. Storia che, abbiamo ormai capito, non è fatta solo di discendenza e distacco, ma anche, anzi soprattutto, di mutamento continuo, contatto, scambio e commistione su più livelli tra popolazioni umane. E se ogni storia ha in fondo un po' di verità capace di confortarci e di guidarci, capire le migrazioni del passato e il loro effetto sulla diversità culturale può offrire la parola d'ordine per aprire e interpretare il presente. ■

PER APPROFONDIRE

Non di soli geni. Come la cultura ha trasformato l'evoluzione umana. Richerson P. e Boyd R., Codice Edizioni, Torino, 2006.

The Types of International Folktales. A Classification and Bibliography. Parts I–III. Uther H.-J., Folklore Fellows Communications, Helsinki, 2004.

Inferring Patterns of Folktale Diffusion Using Genomic Data. Bortolini E., Pagani L., e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 114, n. 34, pp. 9140-9145, 22 agosto 2017.

Cultural Transmission and Evolution: A Quantitative Approach. Cavalli-Sforza L.L. e Feldman M.W., Princeton University Press, 1981.

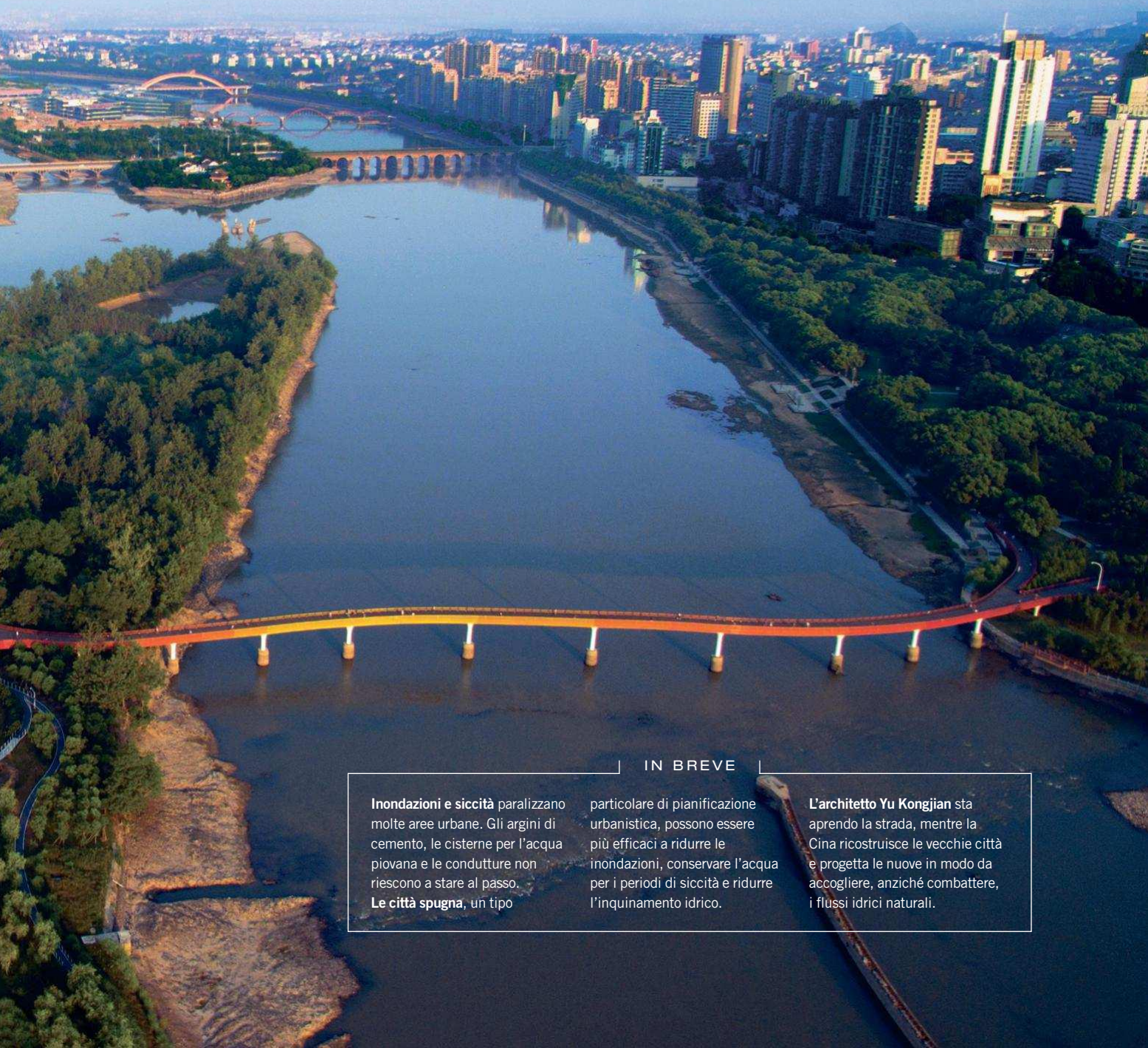
Geni, popolazioni e lingue. Cavalli Sforza L.L., in «Le Scienze» n. 281, gennaio 1992.

Città

di *Erica Gies*

Il parco di Yanweizhou (*al centro*) ha assorbito l'acqua esondata dal fiume durante un monsone particolarmente violento, proteggendo dalle inondazioni la città cinese di Jinhua.

Ristabilire nelle città i flussi naturali dell'acqua può ridurre l'impatto di siccità e inondazioni

spugna

IN BREVE

Inondazioni e siccità paralizzano molte aree urbane. Gli argini di cemento, le cisterne per l'acqua piovana e le condutture non riescono a stare al passo.

Le città spugna, un tipo particolare di pianificazione urbanistica, possono essere più efficaci a ridurre le inondazioni, conservare l'acqua per i periodi di siccità e ridurre l'inquinamento idrico.

L'architetto Yu Kongjian sta aprendo la strada, mentre la Cina ricostruisce le vecchie città e progetta le nuove in modo da accogliere, anziché combattere, i flussi idrici naturali.

Erica Gies scrive di scienza e ambiente e vive tra San Francisco e Victoria, nella British Columbia. I suoi articoli sono stati pubblicati, fra gli altri, su «Nature», «bioGraphic» e «New York Times».

Il 21 luglio 2012 su Pechino caddero quasi 30 centimetri di pioggia, allagando strade e inondando sottopassaggi. L'architetto Yu Kongjian fu sul punto di non riuscire ad arrivare a casa dal lavoro: «Sono stato fortunato. Ho visto molti dover abbandonare le proprie automobili». Il diluvio non si arrestò, e la città precipitò nel caos. La peggior tempesta che ha colpito Pechino negli ultimi sessant'anni uccise 79 persone, la maggior parte annegate nei veicoli o risucchiate nei canali di scarico sotterranei. I danni ammontarono a quasi 2 miliardi di dollari.

Secondo Yu, cofondatore dello studio di architettura del paesaggio Turenscape, acclamato in tutto il mondo, il disastro era evitabile, era una conseguenza di uno sviluppo incauto. Yu aveva allertato Pechino già anni prima, dopo aver diretto un gruppo di ricerca che aveva mappato i «profili di sicurezza ecologica» nella metropoli, identificando i terreni ad alto rischio di inondazione che era meglio non rendere edificabili, usandoli piuttosto per gestire l'acqua piovana. Come dice Yu, «gli allagamenti del 2012 ci insegnarono che i profili di sicurezza ecologica sono una questione di vita o di morte».

Una storia simile si è ripetuta in tutta la Cina. Secondo il Ministero dell'edilizia abitativa e dello sviluppo urbano-rurale, tra il 2011 e il 2014 il 62 per cento delle città ha subito inondazioni, che hanno inflitto 100 miliardi di dollari di perdite. In parte gli allagamenti sono il risultato di tempeste diventate più violente a causa dei cambiamenti climatici, ma i danni sono per lo più autoinflitti: l'intensa urbanizzazione degli ultimi trent'anni ha eliminato zone umide, distrutto intere foreste, raso al suolo fattorie, asfaltato praterie e incanalato i fiumi in camicie di forza di cemento, lasciando all'acqua piovana che una volta filtrava nel terreno una sola alternativa: andare in l'alto.

Le idee delle città spugna sono ispirate alla gestione idrica dell'agricoltura tradizionale

L'urbanizzazione incontrollata sta esasperando anche la scarsità idrica. Edifici, strade e parcheggi impediscono alla pioggia di ricaricare le falde acquifere. La pioggia, infatti, è portata via dagli scarichi e dalle condutture: secondo Yu, una vera follia in un paese afflitto da carenze idriche. Anche Pechino, come altre città del nord della Cina, al di fuori della stagione estiva dei monsoni soffre abbastanza di siccità. Per decenni la capitale cinese ha attinto alle falde acquifere sotterranee per soddisfare le esigenze di una popolazione in continua crescita, e dei relativi consumi. Il livello dell'acqua nella falda si sta abbassando di circa un metro all'anno, provocando in parallelo un affossamento del terreno.

Città di tutto il mondo condividono problemi analoghi a causa dello sviluppo e del tentativo di controllare l'acqua con infrastrutture «grigie», fatte di cemento: dighe, argini, cisterne per la pioggia, condutture e fiumi «tombati», le cui piane alluvionali cioè sono state ricoperte da edifici. Gli esperti ammettono ormai che, rompendo il ciclo naturale dell'acqua, le autorità comunali causano un aumento della probabilità e della gravità degli allagamenti, provocando disastri da Houston, in Texas, a Chennai, in India.

Yu è in prima linea in un movimento globale di urbanisti, funzionari dei servizi idrici, ecologisti e ingegneri impegnati nel ripristino dei cicli idrologici naturali. È una sorta di de-ingegnerizzazione: dare all'acqua lo spazio per espandersi e contrarsi, così da ridurre le inondazioni, e rallentarla in modo che possa essere assorbita dal terreno, prevenendo carenze successive. I sostenitori di questo movimento conservano o recuperano piane alluvionali e zone umide, riportano alla luce torrenti sepolti e creano *bioswale* (avvallamenti per la raccolta dell'acqua piovana), bacini di ritenzione, parchi ribassati e parcheggi con pavimentazioni drenanti. Al contrario dei materiali artificiali, le infrastrutture verdi possono anche ripulire l'acqua e ricostituire gli habitat faunistici, e offrono ai cittadini l'accesso alla natura, riconosciuto da sempre più parti come un pilastro della salute mentale.

Progetti locali di architettura del paesaggio spuntano ovunque, ma Yu e altri professionisti di spicco cercano di gestire l'acqua su una scala maggiore: un'intera città, un intero bacino idrico. Questi approcci, noti in Europa come infrastrutture verdi, negli Stati Uniti come sviluppo a basso impatto (*low-impact development*) e in Cina come città spugna, imitano il più possibile la natura, come spiega Tony Wong, ingegnere e direttore generale del Cooperative Research Center for Water Sensitive Cities di Melbourne, in Australia. L'obiettivo è creare per l'acqua infrastrutture che, con le sue parole, «funzionano come un organismo vivente».

Il movimento delle città spugna sta prendendo slancio. A marzo 2018 le Nazioni Unite hanno pubblicato il rapporto *Nature-Based Solutions for Water*, che difende questo approccio. Negli Stati Uniti la sezione dell'esercito specializzata in ingegneria e progettazione, tristemente nota per i brutali interventi su fiumi e zone umide, oggi ha un programma chiamato Engineering with Nature. Dopo secoli di argini per contenere fiumi e terreni poco rialzati, si sono uniti al movimento anche i Paesi Bassi. Nel 1995 nei fiumi Reno, Mosa e Waal il livello dell'acqua aumentò a tal punto da evacuare 250.000 persone, evitando per un pelo una catastrofe. Il governo poi creò un programma nazionale: anziché limitarsi a costruire dighe e argini sempre più alti, gli olandesi aumentarono la capacità dei delta fluviali, chiedendo agli agricoltori di spostarsi o lasciare che i loro campi fossero allagati secondo necessità.

La Cina, con la sua crescita rapida e il suo governo centralizzato, sta perseguendo la filosofia delle città spugna su una scala difficile anche solo da considerare per la maggior parte delle nazioni. Le ambizioni sono sconfinate, ma Yu sente di dover ancora contrastare una tendenza diffusa tra i pianificatori: quella verso gli approcci indifferenziati. Soluzioni che sembrano andare bene per tutti potrebbero invece rivelarsi disastrose, visto che ogni luogo ha esigenze e sistemi idrogeologici unici. Lavorando con i suoi connazionali, l'architetto deve anche confrontarsi con una predilezione per dighe più robuste, condutture più grandi e cisterne più voluminose, che nella Cina simboleggiano potere e progresso.

Mr. città spugna

Un giorno di primavera feci visita a Yu nel quartier generale di Turenscape, nel distretto di Haidian di una Pechino in cui il tasso di inquinamento dell'aria era «molto elevato». Cinquantenne dall'aspetto snello e appena una velatura di grigio sulle tempie, Yu fa risalire la propria passione alla comune agricola in cui è cresciu-

Turenscape (*pagine precedenti*)

I laghi di Kaban, nella città di Kazan, in Russia, erano inquinati e soggetti a inondazioni. Oggi, dopo una riprogettazione, le loro sponde assorbono e ripuliscono le acque reflue.

Turenscape

to nella provincia di Zhejiang, a sud-ovest di Shanghai. Qui ha osservato la «saggezza contadina» cinese nel gestire l'acqua, praticata per migliaia di anni. Gli agricoltori mantenevano piccoli stagni e terrapieni per aiutare l'acqua piovana a infiltrarsi nel terreno, dove era conservata per i periodi di siccità. Il ruscello che scorreva vicino al suo villaggio in certe stagioni si ingrossava, ma nessuno lo vedeva come una minaccia. «Se sai gestire le inondazioni in modo saggio, l'acqua può essere un'amica», sostiene Yu.

Da quando fondò Turenscape nel 1998 con la moglie e un amico, Yu ha trasformato uno studio pluripremiato in un impero dell'architettura del paesaggio con 600 collaboratori. Al momento Turenscape ha oltre 640 progetti terminati o in costruzione in 250 città della Cina e in altre dieci nazioni, tra cui una riprogettazione del sistema dei laghi di Kaban nella città russa di Kazan. Yu è il preside della scuola di architettura del paesaggio dell'Università di Pechino e insegna periodicamente alla Harvard University.

Per anni, mentre Yu costruiva il portfolio del suo studio, molti cinesi hanno deriso come retrograde le sue idee ispirate all'agricoltura tradizionale. Alcuni arrivarono addirittura a chiamarlo spia degli americani, alludendo al suo dottorato ottenuto presso la Graduate School of Design di Harvard e alla sua opposizione alle enormi dighe citate prima. Negli ultimi anni, tuttavia, la situazione ha iniziato a cambiare: in Cina, molti gruppi stanno costruendo infrastrutture verdi, spesso in collaborazione con statunitensi, australiani ed europei. L'influenza di Yu è aumentata di conseguenza: tiene regolarmente conferenze presso il Ministero dell'edilizia abitativa e dello sviluppo urbano-rurale, e il libro del 2003 in cui racconta le sue attività, *The Road to Urban Landscape: A Dialogue with the Mayors*, in Cina è stato ristampato più volte. Il suo parere è richiesto da autorità come l'ambasciatore messicano in Cina, che spera di risolvere i problemi idrologici di Città del Messico.

L'inondazione di Pechino del 2012 è stata un punto di svolta. Poco dopo, un progetto di Turenscape per la raccolta dell'acqua piovana ad Harbin ha vinto un importante premio statunitense per il *design*. La rete televisiva cinese CCTV ha trasmesso una lunga intervista di Yu. Un ministro del governo gli comunicò successivamente che era stata vista da Xi Jinping, che presto sarebbe diventato presidente. Circa un anno dopo il presidente parlò alla Central Urbanization Conference organizzata in Cina, annunciando il suo programma dedicato alle città spugna e promuovendo l'idea da concetto in cerca di affermazione a obiettivo nazionale.

Nel 2015, il governo avviò 16 progetti dimostrativi, ognuno sviluppato su almeno 10 chilometri quadrati. Oggi sono 30. Tra gli obiettivi, ridurre l'allagamento nelle città, conservare l'acqua per usi futuri, ripulire l'acqua inquinata e migliorare gli ecosistemi naturali. Entro il 2020 ogni progetto dovrebbe trattenere dal 70 al 90 per cento delle precipitazioni medie annue. Il premier Li Keqiang ha dichiarato nella sua relazione operativa di governo per il 2017 un'ulteriore espansione nella costruzione di città spugna.

Un fiume ricostruito

Una settimana dopo aver incontrato Yu visitai uno degli ultimi progetti di Turenscape, lo Yongxing River Park, in un'area periferica di Pechino chiamata Daxing. Le immagini satellitari del «prima», scattate tre anni fa, mostrano un fiume circondato dall'aperta campagna, il cui corso è già raddrizzato e confinato da ripide pareti di cemento. Le immagini del «dopo» sono piene di edifici. Ad accompagnarmi nel parco ci sono due collaboratrici di Yu, Ran Geng e Mengyue Zhang.

Il governo ha riconosciuto che lo sviluppo riduce le infiltrazioni di acqua piovana, spiega Zhang, così ha invitato Turenscape a progettare un parco che, ampliando il letto del fiume, faccia sì che quest'ultimo possa contenere più acqua. Quando lo visito, nell'aprile 2018, il progetto è quasi completato: lungo circa 4 chilometri e largo come due isolati, il parco segue il corso del fiume. Ci troviamo su un ampio terrapieno che divide l'alveo fluviale in due canali: l'acqua scorre a destra, mentre sulla sinistra il canale ha grandi buchi di terra di varie profondità che, nella stagione secca, saranno riempiti dall'acqua parzialmente ripulita che defluisce da un impianto di depurazione. La flora tipica delle aree umide presente nelle vasche, dice Geng, ripulirà ulteriormente l'acqua e ne farà filtrare una parte nelle falde. Durante la stagione dei monsoni, il canale sarà riservato all'acqua piovana, mentre le acque reflue saranno trattate industrialmente.

«Da noi si dice che non si può fermare il peso del fiume – aggiunge Geng – proprio per questo potenziamo il corso d'acqua». Il progetto prevedeva di rimuovere il cemento lungo il fiume e scavare il terreno per allargare l'alveo; la terra di scarto fu poi ammassata per

formare il grande terrapieno. Oggi le rive del fiume sono costellate di migliaia di piccole carici piantate in filari molto ravvicinati, mantenendo la terra al suo posto. I progetti di Turenscape fanno uso di piante native perché, come spiega Yu, sono «adattate all'ambiente locale e non necessitano di acqua supplementare».

Installazioni precedenti già dimostrano la propria efficacia. Il parco di Yanweizhou a Jinhua, vicino a dove Yu è cresciuto, ha assorbito un'inondazione epocale, riuscendo a proteggere la città. I 14 ettari del parco Houtan a Shanghai ripuliscono ogni giorno fino a 2400 metri cubi di acqua fluviale inquinata, e grazie solo a processi biologici migliorano la qualità dell'acqua portandola dal livello V (inadatta al contatto con l'uomo) al livello II (adatta per l'irrigazione del terreno).

Progetti come questi sono efficaci soprattutto quando si collegano ad altre infrastrutture verdi lungo tutto il bacino idrico, permettendo all'acqua di scorrere lungo un'approssimazione del corso naturale. Città costruite da zero in tutta la Cina mostrano ciò che è possibile realizzare. Turenscape ha completato parte dell'ambiziosa eco-città di Wulijie, nella provincia di Hubei. Il progetto preserva le zone umide naturali per raccogliere e ripulire l'acqua piovana, approccio che ha ridotto i costi di costruzione delle condutture di scarico sotterranee e ha conservato gli habitat per le specie faunistiche e vegetali. Gli edifici sono caratterizzati da giardini pensili e verticali e i percorsi pedonali e ciclabili si snodano nel verde: dettagli che dovrebbero migliorare la qualità della vita.

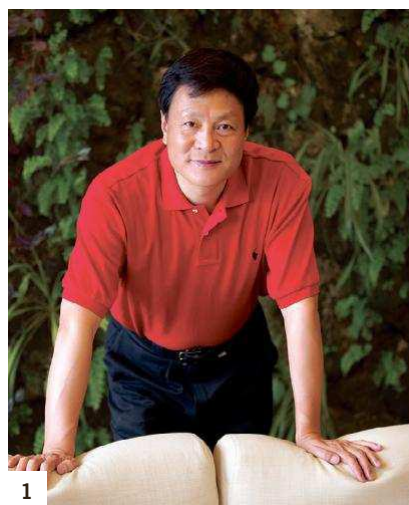
Oltre le città

Ma non è altrettanto facile fare spazio all'acqua in un ambiente già edificato. Gli architetti devono inserire progetti minuscoli in infrastrutture esistenti. A Houston, per esempio, spesso i costruttori si limitano a inserire bioswale nei nuovi complessi residenziali. A San Francisco gli operai hanno fatto spazio alle aree verdi sui marciapiedi e negli spartitraffico a colpi di martello pneumatico.

Ecco da dove nasce il fascino di siti industriali abbandonati ormai maturi per essere recuperati in modo spettacolare. Turenscape supervisionò la prima fase di un progetto del genere nella città millenaria di Kazan, che si sviluppa lungo tre laghi formati da altrettanti meandri del fiume Volga. Durante il periodo sovietico, l'inquinamento aveva ucciso quasi tutte le forme di vita lacustre, senza contare che la città era più soggetta alle inondazioni a causa del modo in cui erano state costruite le dighe. Quando l'acqua si alzava, le sette idrovore cittadine non riuscivano a stare al passo.

Il progetto di Turenscape, parzialmente completato, prevede di recuperare 11 chilometri quadrati di terreno lungo il fiume e i suoi affluenti per accogliere l'acqua piovana. Qui la città sta costruendo parchi lineari, sentieri e bioswales che rallentano, assorbono e ripuliscono le acque reflue cittadine prima di rilasciarle nei laghi. I percorsi ciclo-pedonali danno accesso alla zona ripariale e sostengono l'uso di mezzi di trasporto a basso impatto ambientale.

Azioni di riprogettazione di questa portata stanno incoraggiando Yu ad andare ancora oltre le città spugna, immaginando quelli che chiama «territori spugna». L'architetto aspira a prendersi cura del paesaggio dell'intera nazione. «L'acqua è un sistema» più grande delle città, sono le sue parole.

Ispirato in parte dal paesaggista statunitense Warren Manning, che un secolo fa creò per gli Stati Uniti un piano nazionale, Yu sta creando un piano paesaggistico per tutta la Cina. «È una visione incredibile», secondo Niall Kirkwood, professore di architettura del paesaggio e di tecnologia alla Harvard Graduate School of Design, che conosce Yu da molti anni. «Nessuno pensa su questa scala e con un simile acume politico».

1

2

Turenscape

Nell'ufficio di Yu, sulle pareti fanno mostra di sé mappe della Cina che ne documentano altimetria, bacini idrici e percorsi dei fiumi, così come biodiversità, desertificazione, sicurezza ecologica, erosione del suolo e patrimonio culturale. Per il suo piano, Yu le usa in parallelo a un sistema informativo territoriale (GIS) e alle immagini satellitari per tracciare i cambiamenti nel territorio cinese via via che l'urbanizzazione si diffonde, che gli estuari e i delta si insabbiano e che l'acqua comincia a muoversi diversamente tra i paesaggi naturali e quelli urbani. In questo modo l'architetto isola aree prioritarie, in cui i progetti avranno l'impatto maggiore. Secondo Kirkwood, è come praticare l'agopuntura su un corpo umano. Yu dice di capire che «un intervento in un'area avrà un effetto su un'altra area». Rispetto alla maggior parte degli architetti paesaggisti, sostiene Kirkwood, Yu «pensa in modo più olistico».

Si cercano soluzioni su misura

La casa di Yu, un duplex accanto a quello della sorella, è un'incarnazione della sua filosofia. Sul lato confinante, Yu ha costruito un muro verde di calcare poroso. L'acqua raccolta dal tetto sgocciola lungo la parete, da cui germogliano felci e filodendri e che raffredda le due abitazioni abbastanza da fare a meno dell'aria condizionata, anche se ammette che in estate diventa un po' calda.

I terrazzi delle camere da letto accolgono l'acqua piovana catturata dal tetto e la conservano in cisterne sotto i vasi. Il terrazzo di Yu emana un profumo, con folate di rosmarino, citronella e crisantemi; c'è un minuscolo ruscello con pesci rossi. Dall'altro lato del muro, il balcone della sorella è terrazzato, con vasi pieni di lattuga e bietole. «Raccogliamo ogni anno 52 metri cubi di acqua piovana e coltivo 32 chilogrammi di verdura», dice Yu con orgoglio.

Le idee messe in pratica nella casa di Yu sono applicabili a interi edifici, ma il progetto di ogni città spugna deve essere unico: bisogna che consideri clima, terreno e idrogeologia locali. Con le parole di Yu, «ogni paziente ha bisogno di una soluzione diversa». C'è il rischio che, con la loro fretta, i pianificatori ignorino questo fatto e, se succederà, l'aspirazione di realizzare le città spugna corre il rischio di essere danneggiata. Il timore è anche di Chris Zevenbergen, esperto nella gestione del rischio di inondazioni nelle città allo IHE Delft Institute for Water Education nei Paesi Bassi e professore ospite a Nanchino e a Chengdu. La tendenza degli ultimi vent'anni a inseguire frettolosamente soluzioni con lo stampino

Yu Kongjian (*1*), ritratto sullo sfondo del giardino verticale del suo appartamento, è un sostenitore dei progetti di città spugna in Cina, compreso un parco nella città di Harbin per la raccolta delle acque piovane (*2*).

nell'edificazione delle città non ha lasciato ai costruttori il tempo di capire le imperfezioni progettuali e rimediare. Motivo per cui, per Zevenbergen, tante città hanno problemi con le inondazioni. Un'implementazione di città spugna una uguale all'altra potrebbe portare a problemi simili. Il programma di Xi ha scadenze serrate che potrebbero non garantire il tempo necessario per monitorare la prestazione e apportare eventuali aggiustamenti.

Un articolo scritto nel 2017 da istituti di ricerca del governo cinese ha espresso preoccupazioni analoghe. Il governo ha istituito un comitato composto di ingegneri civili, economisti e architetti del paesaggio, Yu compreso, che possa aiutare a orientarsi.

La visione delle città spugna affronta anche altre sfide. Saranno necessari investimenti privati affinché il piano nazionale possa essere adottato nella sua interezza, ma Yu è preoccupato che le aziende possano ritenere condutture e argini, prodotti per cui possono farsi pagare, più attraenti dei sistemi naturali a cui sono invece votate le città spugna.

La posta in gioco va oltre la mitigazione dei danni da inondazioni e siccità. Xi vuole che le città spugna si prendano carico anche di un altro grande problema che affligge la Cina: l'inquinamento idrico. Le acque di superficie di tutto il paese sono contaminate da nutrienti, metalli pesanti, pesticidi e microplastiche, sottolinea Randy Dahlgren, scienziato dell'Università della California a Davis specializzato in chimica del suolo e delle acque che ha lavorato nella provincia di Zhejiang. «Se faranno filtrare quest'acqua nel terreno, un numero enorme di questi potenziali contaminanti sarà confinato nei sistemi di zone umide, nelle aree di transizione, nei bacini di detenzione e nelle bioswales», dice Dahlgren.

Non ci si può però limitare a costruire le zone umide per poi abbandonarle al loro destino. È possibile che fosforo, metalli pesanti e un po' di azoto si accumulino nelle piante per ritornare poi nel suolo quando muoiono. «Portare via le piante morte è necessario», sottolinea Dahlgren. Possono essere trasformate in combustibili ecologici, anche se è possibile che alcune sostanze inquinanti come i metalli si trattengano nella cenere, che deve poi essere smaltita. «Le zone umide devono essere gestite in modo attivo perché possano diventare un bacino di raccolta efficace di un gran numero di sostanze inquinanti», aggiunge. I pianificatori dovrebbero anche essere cauti a proposito di un'eventuale «trasformazione dell'inquinamento delle acque superficiali in un inquinamento delle acque sotterranee», caso in cui le impurità potrebbero sopravvivere per decenni o addirittura secoli.

Se, però, i pianificatori faranno le cose per bene, la ricompensa potrebbe essere enorme. Le tecniche delle città spugna stanno già riducendo l'inquinamento in luoghi come Philadelphia. Come in molte città degli Stati Uniti, anche qui l'acqua piovana defluisce negli impianti di depurazione, che durante le piogge intense traboccano: le acque reflue, non ancora depurate, arrivano così nei fiumi. Grazie all'iniziativa *Green City, Clean Waters*, Philadelphia sta recuperando terreni lungo le rive dei torrenti e dei fiumi locali affinché assorbano l'acqua piovana in eccesso e sta costruendo parchi che, quando necessario, possano essere allagati. A Philadelphia ci sono anche incentivi per i proprietari di terreni che costruiscono *rain garden*, giardini pensili, fattorie urbane e pavimentazioni drenanti. Queste tecniche permettono all'acqua piovana di percolare nel terreno, riducendo il volume di quella che entra nel sistema fognario. In cinque anni la città ha «rinverdito» 339 ettari, abbastanza da ridurre di oltre 5,7 milioni di metri cubi all'anno l'inquinamento derivante dal traboccamento delle acque reflue.

Una situazione in divenire

I sistemi naturali di gestione dell'acqua non sono statici o prevedibili come le infrastrutture tradizionali: la natura è caotica. L'acqua si alza e si abbassa, le piante germogliano, vivono e muoiono, il fango sale in superficie. Anche se questi spazi possono essere belli, forse più di una diga, per esempio, i residenti potrebbero non gradire sempre ciò che vedono. Affinché le città spugna possano diffondersi, le persone dovranno accettare un ambiente dinamico.

Yu chiama questa transizione «estetica dei piedi grandi», espressione che si contrappone alla tradizione cinese secondo cui i piedi minuscoli delle aristocratiche sarebbero belli in quanto inutili, segno del fatto che queste donne erano troppo ricche per aver bisogno di lavorare. «Oggi abbiamo bisogno di trovare attraenti i piedi grandi», sostiene Yu. «Abbiamo bisogno di cambiare la nostra estetica per considerare belle le utili infrastrutture verdi».

Anche i professori dovranno cambiare prospettiva. Nonostante la promozione a livello nazionale delle città spugna, aggiunge Yu, le scuole cinesi stanno ancora formando gli ingegneri secondo i principi del XX secolo. «Lottiamo duramente per cercare di far assumere alle persone una mentalità ecologista». L'arroganza di credere che possiamo controllare l'acqua con il cemento sarà sempre più evidente con l'aumento del numero di fallimenti di progetti di questo tipo, incapaci di tamponare gli effetti a catena che seguono il rapido aumento della popolazione, l'urbanizzazione incontrollata e i cambiamenti del clima. Anche se le città spugna, probabilmente, non saranno in grado di proteggere tutti da questi pericoli, chi le sostiene pensa che la loro resilienza possa moderare le situazioni estreme meglio delle alternative in calcestruzzo. Senza contare i tanti vantaggi che possono rendere più felice e più sana la vita degli esseri umani e delle altre specie. ■

PER APPROFONDIRE

The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. UNESCO, 2018.

Com'è verde la città. Biello D., in «Le Scienze» n. 519, novembre 2011.

MEDICINA

Migliorare l'accesso ai trial

Per molti pazienti colpiti da tumore la possibilità di accedere a terapie sperimentali salvavita negli ospedali più piccoli è spesso preclusa

di David H. Freedman

Jean Reimers, 75 anni, un'ex cassiera di supermercato in pensione, si gode la vita a Grand Island, una cittadina del Nebraska nei pressi del Platte River, che vanta attrazioni come lo Stuhr Museum, dedicato ai pionieri delle praterie, e una riserva naturale per le gru canadesi. Un paio d'anni fa Reiners aveva scoperto dal suo medico di essere malata di tumore ai polmoni e, peggio ancora, che la malattia era ormai in fase terminale, con presenza di metastasi, difficile da curare e con un tasso di sopravvivenza spaventosamente basso. In questi casi l'approccio standard consiste nella proposta di cure palliative per ridurre le sofferenze dei pazienti. «Sembrava che mi rimanesse a malapena un anno di vita», ricorda.

Oggi, non solo Reimers è ancora viva ma dice di stare benissimo, di avere molte energie e di non sentire alcun dolore. La TAC fatta lo scorso autunno ha indicato una riduzione delle masse tumorali, e in alcuni casi una scomparsa totale. In attesa della nascita del suo undicesimo nipote, la signora ha affermato di «voler fare ancora un bel po' di cose».

A far guadagnare tempo prezioso a Reimers sono stati i farmaci sperimentali ricevuti nell'ambito di uno studio clinico. La terapia, composta da due farmaci immuno-oncologici chiamati Ipilimumab e Nivolumab, non è ancora stata approvata dalla statunitense Food and Drug Administration (FDA) per la cura del tumore al polmone. Lo studio a cui Reimers ha partecipato è uno dei test per valutare l'efficacia del regime terapeutico.

La vicenda di Reimers non avrebbe nulla di strano se fosse avvenuta presso il prestigioso ospedale universitario di una grande città. I principali centri oncologici degli Stati Uniti, come per esempio lo University of Texas MD Anderson Cancer Center di Houston e il Memorial Sloan Kettering Cancer Center di New York City, coinvolgono circa il 25 per cento dei loro pazienti nelle sperimentazioni. Tuttavia l'ospedale più vicino a Reimers e ai 51.000 abitanti di Grand Island è il CHI Health St. Francis, il tipico ospedale di zona di piccole dimensioni (*community hospital*) che fa parte di una rete regionale ma senza rapporti ufficiali con importanti centri medici. «Credevo che chi risiede nei piccoli centri avesse minori possibilità di partecipare ai trial rispetto agli abitanti delle grandi città», dice Reimers, inizialmente convinta che la sua unica opzione consistesse nel recarsi ogni due settimane presso un ospedale più grande a Omaha, a quasi tre ore d'auto. La signora avrebbe dovuto trascorrere la notte fuori casa invece di rientrare subito e riposare, e probabilmente avrebbe scelto di non curarsi. Ma il responsabile del reparto di oncologia del St. Francis scoprì che la paziente rientrava nei criteri di accesso alla sperimentazione con doppio farmaco, compilò i moduli, seguì la faccenda e riuscì a inserire Reimers nel trial.

I farmaci disponibili nelle sperimentazioni cliniche sono spes-

Illustrazione di Kotryna Zukauskaite

IN BREVE

I farmaci più efficaci e innovativi sono proposti per primi ai pazienti coinvolti negli studi clinici e spesso offrono risultati migliori rispetto alle terapie standard.

Negli Stati Uniti capita però che nei trial, specialmente in oncologia, rimangano molti posti vuoti, perché alla maggior parte dei pazienti non viene offerto di partecipare.

È necessario superare gli ostacoli che impediscono l'accesso ai trial negli ospedali di zona, riducendo il carico di lavoro previsto per i medici e migliorando le tecnologie di selezione dei pazienti.

so all'avanguardia e in molti casi si rivelano nettamente più efficaci rispetto alle cure standard. Metà di tutti i farmaci che raggiungono l'ultima delle tre fasi dei trial, cioè il momento in cui viene inserita la maggior parte dei pazienti, finiscono per essere approvati dalla FDA proprio grazie ai miglioramenti in termini di efficacia. Per esempio, prima di essere autorizzato per il cancro al seno nel 1998, Herceptin era un farmaco disponibile solo per i partecipanti ai trial; da allora è stato prescritto a 420.000 donne. Di recente, Ibrance è stato somministrato a circa 90.000 pazienti con tumore al seno, mentre prima del 2015 era disponibile solo per le pazienti coinvolte negli studi clinici. Un altro caso è quello del Keytruda, approvato nel 2014, che a oggi è stato prescritto a oltre 70.000 pazienti oncologici.

Eppure, nonostante circa un terzo dei pazienti oncologici degli Stati Uniti rientri nei criteri di ammissione ai trial sui nuovi farmaci, solo il 4 per cento viene effettivamente coinvolto. Lo afferma il National Cancer Institute (NCI), mentre alcuni esperti sostengono che la percentuale sia addirittura inferiore. Qual è la ragione principale di questo profondo divario? Negli ospedali non universitari, dove la maggior parte dei pazienti oncologici riceve assistenza, i medici non hanno il tempo, gli incentivi o il supporto necessari per informarsi sui trial disponibili, per selezionare e inserire i pazienti o per dare l'assistenza aggiuntiva che spesso si rende necessaria in seguito ai trial. Secondo le conclusioni di uno studio della National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, «i medici locali non godono delle infrastrutture e del supporto necessari per partecipare attivamente ai trial clinici». Uno studio nella rivista di oncologia clinica «CA» ha definito la partecipazione ai trial «scandalosamente bassa», ricollegandola in parte alla «mancata conoscenza degli studi in corso da parte degli oncologi di zona, la mancanza di tempo o interesse e la carenza di risorse per sostenere i costi dello svolgimento delle sperimentazioni cliniche». Poiché circa l'85 per cento dei pazienti riceve assistenza presso gli ospedali di zona, la ridotta partecipazione ai trial clinici è attribuibile in gran parte alla loro incapacità di coinvolgere i pazienti.

Il basso tasso di partecipazione ai trial impedisce di fatto l'accesso a farmaci potenzialmente salvavita

Un problema nazionale di salute

Il basso tasso di partecipazione ai trial clinici, che di fatto impedisce ai pazienti di accedere a farmaci potenzialmente salvavita, è un enorme problema nazionale di salute. Per esempio, meno dell'1 per cento dei malati di Alzheimer partecipa ai trial. Tuttavia il mancato accesso alle cure nel caso dei pazienti oncologici è particolarmente grave, perché i progressi in questo settore sono stati notevoli. «Molti nostri studi riguardano alcuni dei principi attivi più promettenti mai visti», afferma Tufia Haddad, ricercatrice oncologica alla Mayo Clinic. Grazie ad alcuni nuovi metodi per identificare e colpire le mutazioni nei tumori e alle immunoterapie che stimolano le difese naturali dell'organismo, sono oltre 600 i farmaci oncologici sperimentali che hanno ottenuto buoni risultati negli animali e nei primi studi di portata ridotta sugli esseri umani. Inoltre, al contrario di quanto si crede, nella maggior parte degli studi clinici oncologici i pazienti non ricevono farmaci placebo, perché i trial si occupano proprio di mettere a confronto le migliori terapie standard con i nuovi farmaci.

La scarsa partecipazione rischia inoltre di frenare la ricerca. A causa della mancanza di pazienti coinvolti, molti studi sono sospesi prima di aver ottenuto risultati, compromettendo così lo sviluppo di molte terapie promettenti. La maggior parte dei trial subisce ritardi causati dallo scarso numero di partecipanti. In circa uno studio su sei è addirittura impossibile reclutare un singolo paziente. «Il problema principale nello sviluppo di nuovi farmaci è la mancanza di pazienti a cui somministrarli», sottolinea John T. Cole, oncologo dell'Ochsner Health System di New Orleans e coordinatore di una rete di centri oncologici. «È impossibile far fronte a questa sfida se non risolviamo il problema negli ospedali di zona».

Secondo R. Alta Charo, professore di diritto all'Università del Wisconsin a Madison e studiosa di politiche sulla ricerca medica, legislatori e politici non hanno fatto abbastanza per aiutare medici e ospedali di zona a superare gli ostacoli, limitandosi ad approvare il cosiddetto *right to try* (diritto a provare), che proibisce alla FDA di impedire l'accesso ai pazienti terminali a cure sperimentali altrimenti non disponibili. Di fatto la FDA non impedisce quasi mai l'accesso ai trial; la nuova legge si limiterà dunque ad aiutare solo pochi pazienti e non contribuirà a migliorare l'accesso agli studi clinici. «Sarebbe molto più efficace aiutare i medici nei piccoli ospedali, oberati dal lavoro e con scarsi mezzi a disposizione», sostiene Charo.

Rimane tuttavia difficile capire quali siano i modi più efficaci per aiutare questi centri. Ci sono soluzioni parziali, come i programma basati sull'intelligenza artificiale, che elaborano un'infinità di dati per abbinare i pazienti agli studi clinici. Tra le altre possibili opzioni vi sono gli approcci basati sulle strategie di contatto, educazione e marketing che puntano a cambiare la cultura stessa degli ospedali di zona, che ostacolerebbe l'accesso ai trial. Per avere successo, tuttavia, questi approcci devono permettere ai medici di far fronte alla mancanza di tempo, competenze e risorse finanziarie che impediscono loro di coinvolgere i pazienti negli studi. Il St. Francis, che essendo un piccolo ospedale soffre delle medesime restrizioni, riesce però a coinvolgere circa il 35 per cento dei suoi pazienti nelle sperimentazioni. Questo risultato è dovuto quasi interamente alla determinazione e all'impegno di Mehmet Copur, il responsabile del reparto di oncologia all'epoca della signora Reimers. Sarebbe però rischioso aspettarsi di poter contare sullo stesso livello di entusiasmo in ogni ospedale di zona.

Un medico in missione

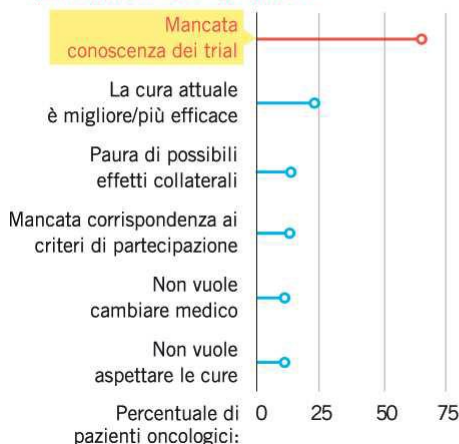
Quando Reimers si è ammalata, il dottor Copur si è mostrato disponibile a informarsi sugli studi adatti e a inserirla nei trial, così come aveva fatto per altri pazienti; una mansione prevista all'interno dei centri universitari ma non negli ospedali di zona. Rifiutarsi di fare quel passo in più significa privare i pazienti più gravi delle migliori prospettive di cura, sostiene Copur, che di recente si è trasferito al Morrison Cancer Center della vicina Hastings, dove sta avviando un analogo programma di studi clinici. «Oggi le terapie standard sono al livello che gli studi clinici avevano raggiun-

David H. Freedman è autore di testi scientifici.

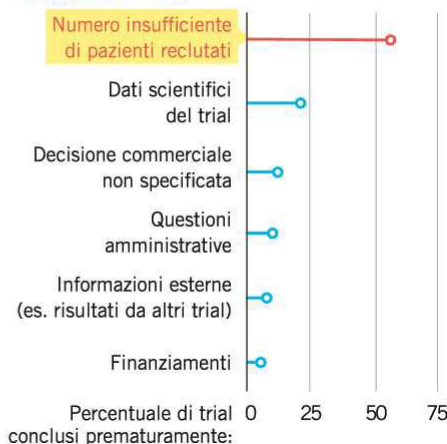
Occasioni sprecate

Spesso i pazienti che partecipano agli studi clinici ottengono risultati migliori rispetto ai pazienti sottoposti a terapie standard. Tuttavia, solo a una piccola percentuale di pazienti è offerta la possibilità di partecipare, mentre molti non ricevono alcuna informazione dal proprio medico. Gli studi clinici hanno posto per molti altri pazienti, ma di fatto molti trial sono interrotti perché non dispongono di un numero sufficiente di partecipanti.

Pazienti all'oscuro

Negli Stati Uniti l'81 per cento dei pazienti oncologici ha dichiarato di non aver ricevuto alcuna informazione sui trial da parte dei loro medici. Questi sono i risultati emersi da uno studio del 2009 su 406 pazienti oncologici e 200 oncologi. Per i pazienti, la disinformazione era la causa principale della loro mancata partecipazione.

Cercasi pazienti disperatamente

Nel 2015 un'analisi di tutti gli studi clinici effettuati negli Stati Uniti e terminati prima del previsto ha trovato che la causa principale era un numero insufficiente di pazienti. Dei 905 trial, il 57 per cento è stato sospeso per questa ragione, mentre solo il 21 per cento è stato interrotto per cause scientifiche, per esempio per la mancata efficacia dei farmaci sperimentali.

Fonte: *Clinical trial awareness, attitudes, and participation among patients with cancer and oncologists*, di Laurie Fenton e altri, in «Community Oncology», Vol. 6, n. 5, maggio 2009 (*risposte pazienti*); *Terminated Trials in the ClinicalTrials.gov Results Database: Evaluation of Availability of Primary Outcome Data and Reasons for Termination*, di Rebecca J. Williams e altri, in «PLoS ONE», Vol. 10, n. 5, articolo n. E0127242, 26 maggio 2015 (*interruzione trial*)

to dieci anni fa», afferma Copur, che aggiunge: «Inserire i pazienti nei trial clinici significa permettere loro di ricevere un farmaco che tra dieci anni farà parte delle terapie standard».

Nel 1995 Copur era un giovane ricercatore medico arrivato dalla Turchia che svolgeva ricerche di base ai National Institutes of Health, alla periferia di Washington, quando una modifica nelle politiche statali (che variava il numero di permessi per i lavoratori temporanei) mise a repentaglio la sua possibilità di rinnovare il visto di soggiorno. La sua unica speranza per rimanere negli Stati Uniti era un programma che offrisse permessi di soggiorno permanenti ai medici impegnati per tre anni in comunità poco servite. Dopo aver letto un annuncio di lavoro al St. Francis di Grand Island, Copur ottenne il ruolo.

«Arrivato qui, pensai che la mia carriera fosse arrivata al capolinea», ricorda il medico. Copur avrebbe voluto continuare a occuparsi di ricerca clinica, ma scoprì che il St. Francis non era dotato né di una biblioteca medica né di connessione Internet. Gli studi clinici praticamente non esistevano: né i suoi colleghi oncologi né l'amministrazione dell'ospedale avevano accolto di buon grado la proposta di tentare di partecipare a qualche sperimentazione. «Ho dovuto lottare sin dal primissimo giorno», ricorda Copur. «Talvolta anche negli ospedali delle grandi città le persone faticano a comprendere l'importanza degli studi clinici; figuriamoci in una piccola realtà».

Di un genere raro

Per guadagnarsi lo stipendio, Copur era tenuto a visitare un numero costante di pazienti per cinque giorni a settimana. Gli studi clinici richiedono però un carico di lavoro aggiuntivo; ogni paziente richiede circa il triplo del tempo rispetto ai pazienti che non partecipano agli studi, a causa dei requisiti previsti per la raccolta di informazioni e il monitoraggio ravvicinato. Nei centri universitari, i medici dispongono del tempo aggiuntivo necessario per i trial e possono contare sull'aiuto di personale di supporto specializzato. Copur invece dovette fare tutto da solo, a partire dalla stesura dei rigidi protocolli per la raccolta dei dati allo svolgimento dei testi diagnostici supplementari, le visite aggiuntive, la stesura dei rapporti, la formazione del personale e così via. Il medico riuscì inoltre a procurarsi finanziamenti da parte del NCI e a entrare in un consorzio di ricerca ospedaliero, consentendo lo svolgimento di un maggior numero di studi clinici.

Molti dei pazienti di Copur erano riluttanti nei confronti delle sperimentazioni, affermando di non voler diventare cavie alle quali somministrare farmaci altamente tossici o placebo: due preconcetti molto diffusi tra i pazienti delle zone rurali, come ricorda James Atkins, un oncologo del Southeastern Medical Oncology Center del North Carolina. Copur spiegava a ognuno di loro che i moderni studi sul cancro si concentrano sugli effetti benefici per i pazienti e che nel caso peggiore avrebbero semplicemente ricevuto la terapia standard. La maggior parte dei pazienti acconsentiva dunque a partecipare. In seguito altri oncologi del St. Francis si accorsero che in alcuni casi i pazienti di Copur ottenevano risultati notevoli. Ed era ovvio che fosse così, ricorda Copur, dato che alcuni di essi avevano ricevuto farmaci migliori. In poco tempo anche i suoi colleghi cominciarono a inserire i propri pazienti nei trial. «Copur ha fatto un lavoro eccezionale in un ambiente prettamente rurale», sostiene Praveen Vikas, oncologo dello University of Iowa Health Care. «Appartiene a quel raro genere di medici locali in grado di offrire cure talvolta migliori di quelle degli ospedali universitari in termini di valore aggiunto e soddisfazione del paziente, mantenendosi aggiornato sulle ricerche».

Fino al 2018 il gruppo di Copur all'ospedale St. Francis aveva

coinvolto pazienti in 74 diversi studi. Per farlo, Copur aveva dovuto lavorare senza sosta fin dalle prime ore dell'alba, concedendosi un'ora per la cena intorno alle 19 per mangiare con il padre malato prima di tornare alla clinica per altre tre ore. «Questi studi sono tutta la mia vita», dice il medico. «A volte, quando sogno, immagino di fare qualche grande scoperta scientifica, ma poi sono i miei pazienti a ricordarmi che quello che sto facendo è molto di più».

Tra loro c'è un giovane (che ha chiesto di rimanere anonimo), che due anni fa ha scoperto un cancro al rene dilagante. Di fronte alle scarse speranze offerte dalle cure chemioterapiche approvate, il paziente si era messo alla ricerca di un trial clinico, immaginando di doversi spostare da Grand Island per potervi partecipare. Recatosi a Washington per incontrare uno specialista, il paziente era stato reindirizzato in Nebraska e riferito a Copur. «A dirla tutta ero un po' scettico quando Copur mi ha detto che avrebbe trovato il trial che faceva al caso mio», ricorda il giovane. «Ma poi, non appena ho lasciato l'ambulatorio, ho cominciato a ricevere e-mail sugli studi clinici a cui avrei potuto partecipare». Oggi il paziente attribuisce le sue ottime condizioni di salute ai farmaci immunoterapici ricevuti nell'ambito del trial a cui Copur lo aveva iscritto.

Barriere da infrangere

L'esperienza di Copur al St. Francis dimostra che anche gli ospedali di zona possono ottenere grandi risultati come centri di riferimento per gli studi clinici. E se Copur riuscirà a ripetere questo successo al più piccolo Morrison Cancer Center, parte dell'ospedale di zona Mary Lanning Healthcare di Hastings, il successo sarà ancora più grande. Per gli ospedali locali sono sufficienti percentuali di partecipazione anche inferiori al 35 per cento del St. Francis per migliorare di molto i propri risultati. Se anche solo un quarto degli ospedali locali migliorasse la percentuale di partecipanti ai trial del 10 per cento, il totale di pazienti iscritti aumenterebbe del 50 per cento. In un sondaggio condotto tra un ampio campione di pazienti oncologici, l'81 per cento ha dichiarato che il proprio medico non ha menzionato la possibilità di partecipare a un trial. In un altro sondaggio su pazienti donne, oltre metà delle intervistate ha affermato che il loro oncologo non ha fatto menzione dei trial o addirittura ha sconsigliato loro di partecipare.

Per abbinare i pazienti agli studi clinici possono essere usati programmi di intelligenza artificiale

Il lavoro del St. Francis ha inoltre evidenziato gli ostacoli riscontrati dai piccoli ospedali. Ma per un miglioramento anche solo del 10 per cento non è richiesto un impegno personale eccessivo, come ricordano i medici che hanno contribuito a migliorare la situazione in altri ospedali. Atkins, che dirige un grande consorzio di studi sperimentali negli Stati Uniti sud-orientali, collabora con 25 ospedali in cinque diversi Stati per migliorare le possibilità di accesso ai trial. Sono molti i medici coinvolti, dice Atkins, e l'impegno aggiuntivo prevede un massimo di cinque ore settimanali aggiuntive rispetto alle classiche 50 ore lavorative di un medico. «È ovvio che si tratti di un carico di lavoro supplementare, ma se un medico non è disposto a farlo per i suoi pazienti, a mio avviso è un segno di pigrizia», sostiene Atkins.

Un'altra possibilità consiste nel riorganizzare gli studi clinici al fine di ridurre gli oneri sui medici degli ospedali di zona, trasferendo parte del carico di lavoro ai centri di ricerca che hanno avviato i trial. Uno studio effettuato dallo University of Pittsburgh Medical Center, in collaborazione con altri sei ospedali universitari e i National Institutes of Health statunitensi, ha analizzato 38 diverse misure che i responsabili degli studi clinici possono intraprendere per coinvolgere nelle proprie sperimentazioni un maggior numero di medici di altri ospedali. Le misure, destinate principalmente a stimolare l'interesse dei medici riducendo il carico di lavoro necessario per avviare il trial e reclutare i pazienti, comprendevano: l'invio di ricercatori presso gli ospedali per parlare dell'importanza del trial e i requisiti per i pazienti, l'organizzazione di videoconferenze di *follow-up*, la redazione di articoli per le *newsletter* degli ospedali e per pubblicazioni locali e di carattere medico, la fornitura di assistenza 24 ore su 24, sette giorni su sette ai ricercatori in cerca di risposte, la creazione di un sito web dedicato al trial, e l'offerta di strumenti di reclutamento dei pazienti, come *brochure* e moduli per il consenso in varie lingue. Lo studio, pubblicato nel 2014 sulla rivista «Clinical Pediatrics», ha riscontrato un aumento del 38 per cento nel numero di pazienti reclutati dopo l'avvio di queste misure.

Sonika Bhatnagar, autrice principale e professore associato di pediatria alla University of Pittsburgh School of Medicine, ha osservato alcuni fattori chiave emersi durante lo studio. «L'ostacolo principale per i medici era la mancanza di tempo, quindi è stato fondamentale ridurre il loro carico di lavoro. Semplificare le cose al massimo ha fatto davvero la differenza», ricorda. Tra gli strumenti di supporto forniti da Bhatnagar e colleghi c'era una serie di punti di dialogo preparati in anticipo che i medici potessero usare con i pazienti, in modo da non dover studiare in anticipo una metodologia di approccio al trial per spiegarne correttamente tutti gli aspetti. I ricercatori si sono offerti di contattare direttamente le famiglie dei pazienti per rispondere ai loro quesiti.

Inoltre Bhatnagar ha osservato come i medici temessero che l'inserimento dei pazienti nei trial potesse limitare il loro potere decisionale sulle cure, perché spesso gli studi clinici limitano le opzioni terapeutiche. In merito a queste preoccupazioni, ha quindi riscontrato che il modo migliore per affrontarle fosse inviare i ricercatori negli ospedali a incontrare i medici di persona per migliorare la loro fiducia nei confronti dei protocolli e generare entusiasmo verso i possibili risultati del trial sia per i singoli pazienti sia per tutti coloro che potrebbero godere dei risultati finali dello studio. «Molti medici sarebbero orgogliosi di partecipare a ricerche che contribuiscano a cambiare le linee guida terapeutiche in quel settore», afferma Bhatnagar.

Un altro studio ha fornito ai medici materiali pensati per semplificare al massimo il processo di selezione dei pazienti e rendere più semplice il rispetto dei protocolli durante le cure. Lo studio prevedeva inoltre incontri faccia a faccia tra medici di zona e ricercatori, nonché discussioni sulla malattia da curare. Al termine dello studio il tasso di partecipazione ai trial nelle strutture coinvolte era più che raddoppiato.

Alcuni di questi interventi trovano riscontro nella volontà degli ospedali universitari di ampliare il loro raggio d'azione all'interno dei singoli Stati, talvolta anche oltre, acquisendo o creando partnership con gli ospedali locali. Anche le grandi reti di strutture sanitarie stanno spingendo in questa direzione. Kaiser Permanente, un'azienda sanitaria no profit, ha sostenuto e incoraggiato tutti i 27 ospedali del nord della California appartenenti al suo network, molti dei quali erano ospedali di zona, a migliorare la partecipa-

Mary Lanning Healthcare e Alan Jackson Studios

Mehmet Copur è un oncologo che cerca trial clinici a cui far partecipare i suoi pazienti, come quella che abbraccia in questa foto.

zione dei pazienti ai trial. «Invece di dover guidare per 80 chilometri o più per raggiungere un ospedale universitario, i nostri pazienti possono partecipare a un trial clinico nello stesso centro in cui hanno fatto nascere i propri figli o sono stati vaccinati contro l'influenza», dice Lou Fehrenbacher, oncologo di Kaiser Permanente e supervisore del programma di trial oncologici della regione. Allo stesso modo, l'ospedale principale della Yale University, con sede a New Haven, ha coinvolto alcune cliniche oncologiche locali di tutto il Connecticut nei propri studi clinici. Purtroppo la maggior parte dei 4000 ospedali di zona degli Stati Uniti non ha legami ufficiali con centri universitari, quindi questa strategia potrebbe avere effetti limitati.

La soluzione high-tech

Sembrerebbe tuttavia che la tecnologia possa contribuire a colmare questa mancanza. La Mayo Clinic sta testando da qualche tempo la versione pilota di un progetto ambizioso basato su Watson, la piattaforma di *cognitive computing* di IBM. Il sistema ha analizzato tutti i dettagli nei record di ogni paziente di tumore al seno in cura presso il centro e li ha messi in relazione con i 16 diversi trial clinici per la malattia in corso alla clinica. Secondo la Mayo Clinic, dopo 11 mesi la percentuale di adesione ai trial era migliorata dell'80 per cento, anche se l'incremento ha coinvolto solo la clinica stessa e non gli ospedali di zona.

La dottoressa Haddad, che partecipa alla gestione del progetto pilota, sostiene che questo netto miglioramento sia dovuto in parte al fatto che il progetto prevedesse personale più numeroso e si concentrasse sull'abbinamento tra paziente e trial. Ha però aggiunto che la capacità di Watson di analizzare rapidamente non solo campi di dati strettamente specificati nelle cartelle dei pazienti, ma anche le note cliniche e altri dati non strutturati abbia fatto la differenza nel migliorare l'accuratezza del sistema. «Quasi tutti i sistemi elettronici che registrano le informazioni di salute dei pazienti non sono sufficientemente avanzati per rispondere a domande specifiche, per esempio a quali cure è già stato sottoposto un paziente», ricorda la dottoressa. «Oltre il 90 per cento dei dati nei record non è strutturato, mentre i sistemi cognitivi sono in grado di elaborare anche questa tipologia di informazioni».

Uno studio effettuato da NCI e Case Western Reserve University, che usa un altro sistema sperimentale di computing cognitivo chiamato Trial Prospector, ha passato al setaccio i record di 60 nuovi pazienti malati di tumore gastrointestinale in diversi ospedali, abbinandone il 57 per cento con almeno uno tra 15 diversi trial. Un gruppo di oncologi coinvolti nello studio ha approvato entusiasticamente il sistema, convalidando tutti gli abbinamenti. Un altro sistema testato al Cincinnati Children's Hospital Medical Center ha portato a una riduzione dell'85 per cento del tempo necessario per abbinare i pazienti ai trial.

I risultati sono senz'altro interessanti, ma prevedono requisiti difficili da soddisfare. Innanzitutto questi sistemi richiedono in genere che un ospedale disponga di un sistema avanzato di gestione delle cartelle cliniche elettroniche, in grado di fornire i dati. La maggior parte dei sistemi usati negli ospedali locali è troppo rudimentale per prevedere funzionalità di abbinamento tra pazienti e studi clinici. Tuttavia, data la tendenza crescente della medicina ad analizzare a fondo le cartelle cliniche per migliorare le cure dei pazienti, questi sistemi verranno inevitabilmente aggiornati in futuro, in modo da permettere questi abbinamenti, soprattutto con l'aumento del numero di ospedali locali affiliati a centri più grandi e addirittura ospedali universitari.

Da parte sua, Copur ritiene che a contribuire maggiormente all'avvicinamento tra gli studi clinici e la grande maggioranza dei pazienti oncologici saranno le pressioni esterne che lentamente stanno aumentando, via via che i medici dei centri locali iniziano a rendersi conto della situazione. Lo stesso Copur sta continuando a pubblicare, con 63 nuovi articoli, tra cui uno studio pubblicato sul «Journal of Clinical Oncology» sulla valutazione delle terapie per il tumore metastatico del pancreas, e tenendo conferenze sui risultati che possono essere raggiunti dagli ospedali di zona. «Dico ai medici che se non hanno intenzione di far partecipare i propri pazienti agli studi clinici, dovrebbero almeno indirizzarli verso un collega disponibile a farlo», dice Copur.

Sembra che per cambiare la situazione, seppure lentamente, sia necessaria una combinazione tra tutti questi approcci: ricercatori che si rivolgono alle comunità locali e diffondono il loro operato tra i medici di zona, trial progettati per ridurre il carico di lavoro dei medici e strumenti che automatizzano l'abbinamento tra pazienti e trial e le relative attività. Serviranno inoltre altri portavoce convinti come Copur e NCI, impegnati a sottolineare con costanza e veemenza come la partecipazione ai trial faccia parte dei doveri di ciascun medico (non soltanto di quelli impegnati a livello universitario) nei confronti del proprio lavoro e dei propri pazienti. Soltanto nel caso in cui questi sforzi su più fronti aumenteranno la partecipazione ai trial, i pazienti avranno davvero la possibilità di provarci. ■

PER APPROFONDIRE

Clinical Trial Awareness, Attitudes, and Participation among Patients with Cancer and Oncologists. Fenton L. e altri, in «Community Oncology», Vol. 6, n. 5, pp. 207-213, maggio 2009.

Transforming Clinical Research in the United States: Challenges and Opportunities: Workshop Summary. Institute of Medicine, National Academies Press, 2010.

Reliability of Adverse Symptom Event Reporting by Clinicians. Atkinson T.M. e altri, in «Quality of Life Research», Vol. 21, n. 7, pp. 1159-1164, settembre 2012.

Alzheimer's Disease Drug Development Pipeline: 2017. Cummings J. e altri, in «Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions», Vol. 3, n. 3, pp. 367-384, settembre 2017.

CONSERVAZIONE

Boschi sacri

Gli abitanti di alcuni villaggi indiani stanno ridando vita a un'antica tradizione per godere dei benefici ambientali che porta con sé

di Madhav Gadgil

Il bosco sacro di Ponad Kadya è uno delle decine di migliaia di rifugi di questo genere in India, che rappresentano un riparo per molte specie rare di flora e di fauna e spesso servono da fonti d'acqua per i villaggi locali.

Madhav Gadgil ha fondato il Centro per le scienze ecologiche all'Istituto indiano di scienza di Bangalore. La sua ricerca ha contribuito all'istituzione della prima riserva della biosfera in India, sui monti Nilgiri. È stato insignito di numerosi premi, tra cui il Padma Bhushan e il Premio Tyler per i risultati in campo ambientale.

Una mattina di metà marzo, nel 2014, io e alcune altre persone eravamo seduti sotto un albero di *mahua* (*Madhuca longifolia*) nel cuore collinare e boschivo dell'India, e facevamo colazione con riso di coltivazione locale, germogli di soia e curry di pesce. Di tanto in tanto ci cadevano addosso i petali carnosi e zuccherini dei fiori di mahua, che diventavano così un dessert dolce e fresco con cui concludere il pasto.

Ero ospite di alcuni indigeni Gond, residenti nel villaggio di Mendha, nello Stato indiano del Maharashtra, i quali un quarto di secolo prima avevano dichiarato che sarebbero stati loro, e nessun altro, a gestire le ricche risorse naturali della regione. Nel mio ruolo di ecologo, avevo lavorato sul campo con loro per tutto quel tempo, aiutandoli a definire le strategie di gestione delle loro risorse di biodiversità. Quel giorno dovevo andare a visitare le sette aree boschive che avevano identificato come nuovi boschi sacri, e che coprivano oltre il 12 per cento dei 1800 ettari di foresta della comunità.

Retaggio di tradizioni preistoriche per la conservazione della natura, i boschi sacri sono zone di foresta che le comunità rurali nei paesi in via di sviluppo proteggono e venerano come inviolabili. Credenze spirituali profondamente radicate fanno sì che all'interno dei loro limiti non si abbatta nessun albero né si faccia del male ad alcun animale. (In tempi di assoluta necessità, per esempio quando un villaggio è distrutto da un incendio, è però possibile implorare le divinità del bosco per ottenere il permesso di prelevare una quantità limitata di legname per la ricostruzione.) Questi boschi sono ricolmi di tesori per i naturalisti, e spesso rappresentano l'ultimo rifugio per alberi antichi e magnifici, e per varie specie di liane, piante medicinali, macachi, cervi, uccelli, lucertole, rane e altri animali che altrove sono diventati rari.

Un tempo i boschi sacri erano molto diffusi sul Vecchio Continente –compaiono nei classici greci e sanscriti – ma poi furono quasi cancellati dall'arrivo della cristianità e del suo antropocentrismo. Si dice che le chiese cristiane, con i loro pilastri torreggianti e la luce che filtra dalle vetrate colorate, richiami i boschi sacri di un tempo. Queste zone boschive protette esistono ancora, invece, in diverse zone del Medio Oriente, dell'Africa e dell'Asia.

Nel corso di quasi mezzo secolo ho esplorato molti luoghi sacri in India, Bhutan e Giappone, come colline, sorgenti, fiumi, laghi e boschetti. Ho assistito alla distruzione di boschi sacri, ma anche alla loro conservazione, alla ricostruzione o addirittura alla nascita di nuovi. Oggi una crisi ecologica nel Subcontinente indiano, causata dall'inarrestabile sfruttamento commerciale delle risorse naturali, alimenta una vivace rinascita di questi spazi sacri. Questa affermazione degli antichi valori di rispetto per la natura, troppo spesso derisi come superstizioni primitive, rappresenta la speranza migliore che sia sorta da decenni per l'ecologia indiana.

Il conservazionismo convenzionale segue una strategia *top-down* modellata sullo Yosemite National Park, che fu creato nel 1890 in seguito all'espulsione forzata dei nativi americani che vivevano in quell'area. Come ha scritto il giornalista Mark Dowie nel suo libro del 2009 *Conservation Refugees*, questa idea occidentale di un ambiente selvatico privo di esseri umani fu imposta in tutto il mondo. I grandi enti di conservazione della natura, in collaborazione con i governi dei paesi in via di sviluppo, crearono aree protette per animali carismatici come le tigri e i leoni sfrattando milioni di esseri umani dalle foreste e dalle savane in cui avevano vissuto per centinaia di anni o anche più. Quelle espulsioni non si limitarono a causare una sofferenza immane, ma si rivelarono anche controproducenti come strategia per la conservazione ambientale. In molti casi le popolazioni locali avevano curato la foresta e ne avevano protetto la biodiversità in modi che divennero chiari solo a posteriori, per esempio con incendi controllati che servivano a eliminare specie invasive nel sottobosco o a favorire la rigenerazione dei semi di alberi di valore.

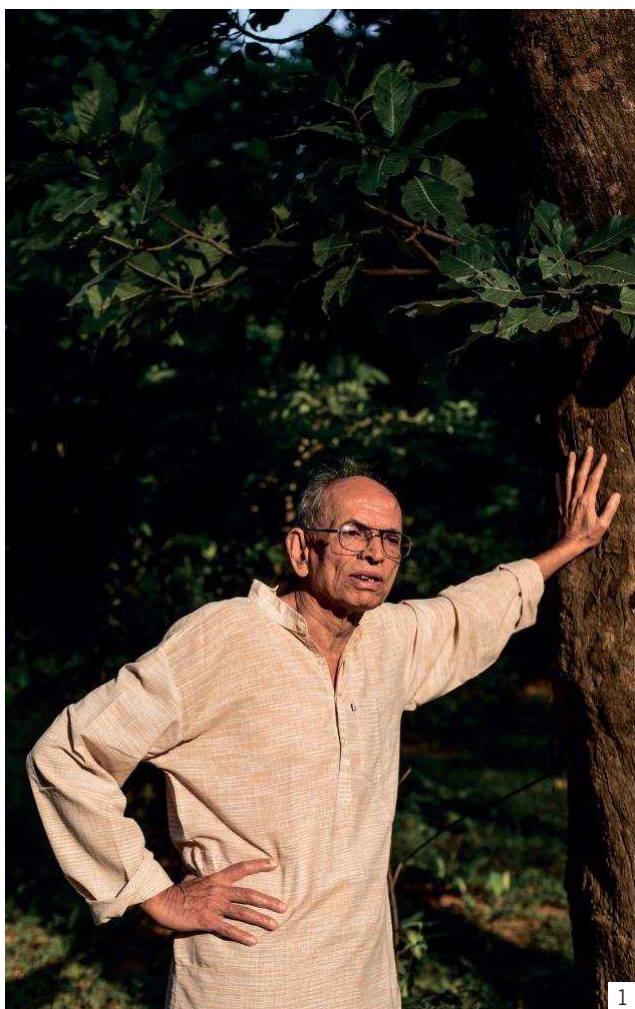
In anni più recenti, però, sta guadagnando terreno in tutto il mondo una strategia radicalmente diversa di conservazioni-

IN BREVE

I boschi sacri sono zone di foresta primordiale che alcune comunità rurali proteggono come dimora di qualche divinità. Questa «gente di ecosistema» trae sostentamento dalle risorse vicine e valorizza la natura per i servizi ecologici che essa offre.

L'approvvigionamento di risorse in epoca coloniale ha devastato l'antica rete dei boschi sacri in India. Tuttavia migliaia di boschi sono sopravvissuti e ne vengono creati anche di nuovi, per i benefici ecologici che portano alle comunità.

Dare alla gente il potere di proteggere l'ambiente potrebbe essere la chiave che permette di preservare questi spazi incontaminati. La legge indiana Forest Rights Act del 2006, che dà alle comunità locali il diritto di gestire le foreste, è un passo importante in questa direzione.

Tutte le fotografie dell'articolo sono di Harsha Vadlamani

Madhav Gadgil (1) si appoggia a un albero di *mahua* protetto dalla gente del villaggio di Mendha, nello Stato del Maharashtra. Il mahua (2) è sacro a molti abitanti delle foreste e dei villaggi dell'India centrale e orientale, che ne mangiano i fiori nutrienti e li fanno fermentare per produrre una bevanda alcolica usata in cerimonie religiose. Tuttavia il dipartimento forestale indiano tende a eliminare gli alberi di mahua e a sostituirli con specie commerciali.

smo, di tipo *bottom-up*. Circa il 40 per cento delle foreste selvatiche mondiali è ancora protetto dai gruppi locali che vivono al loro interno e nei dintorni. Come spiega questo articolo, dare potere a questa «gente di ecosistema» (che vive a stretto contatto con la natura e può osservare direttamente e apprezzare i tanti benefici che ne derivano) potrebbe essere il modo più efficace per proteggere ciò che rimane della biodiversità del nostro pianeta.

In viaggio nei Ghati occidentali

Il mio amore per i boschi sacri iniziò nell'agosto 1971. Tornato da poco in India dopo aver ottenuto il dottorato a Harvard, partii con il mio ex professore di botanica, V.D. Vartak, per una spedizione sul campo nel nord dei Ghati Occidentali, una catena di colline che corre lungo la costa ovest della penisola indiana. Io, che ero cresciuto in quella regione, diventavo sempre più depresso alla vista di quelle colline erose e aride, che fino agli inizi degli anni sessanta erano state coperte dalla foresta pluviale. All'improvviso ci trovammo di fronte a 5 ettari di un lussureggiante bosco di sempreverdi, nel quale torreggiavano quattro alberi di *dhup* (*Canarium strictum*), gli esemplari più a nord di una specie caratteristica del sud della regione, a 500 chilometri di distanza. Vartak spiegò che il bosco era sopravvissuto perché era sacro a una dea madre locale, e che esistevano diversi scampoli di vegetazione primordiale simili a quello un po' in tutti i Ghati Occidentali.

Al rientro mi informai meglio sui boschi sacri. Anche se erano citati spesso nella letteratura sulle credenze culturali e religiose, non riuscii a trovare ricerche sistematiche sul fenomeno, per non parlare di studi condotti da una prospettiva ecologica o da quella delle scienze sociali. L'ipotesi dominante tra gli ambientalisti era che rappresentassero elementi residui del culto della natura prevalente in tutte le società cosiddette primitive, che non avessero alcuna funzione secolare ma continuassero a esistere per motivi puramente legati alla superstizione. Questa ipotesi implicava che fossero maggiormente concentrati in luoghi religiosi come la cima delle montagne o le sorgenti dei fiumi.

A me sembrava più plausibile che il sistema dei boschi sacri, seppur protetto da credenze religiose, fosse fondato su benefici secolari, come il controllo delle fonti di acqua dolce. In base a questa ipotesi, i boschi sacri non sarebbero stati limitati ad habitat di tipo particolare, ma sarebbero distribuiti attraverso l'intera gamma degli habitat possibili. Cominciai quindi a raccogliere dati sul campo per mettere alla prova questa previsione.

Fu un'esperienza affascinante: attraversare il nord dei Ghati Occidentali, trovare paesini con boschi sacri di estensione considerevole, prendere nota delle dimensioni, della composizione botanica, della vita animale e della posizione in relazione alla topografia, ai centri abitati e alle coltivazioni, e parlare con gli abitanti del luogo delle loro tradizioni, credenze e conoscenze ecologiche.

I dati mostravano chiaramente che quelle persone percepivano e davano valore ai benefici che i boschi sacri offrivano all'ecosistema, e che continuavano a preservarli perché volevano approfittare di quei benefici. Oltre a proteggere le fonti d'acqua, i boschi sacri costituivano anche rifugi per animali che fuori di quei confini erano sfruttati. Un esempio notevole di questo sistema erano gli Jenu Kuruba delle colline di Nilgiri, il cui nome significa «raccoglitori di miele» che accendevano fuochi sotto gli alveari delle api selvatiche dovunque, tranne che nella rete di boschi sacri della regione. Erano consapevoli che il tabù che impediva di fare del male agli alveari all'interno dei boschi sacri garantiva la sopravvivenza delle popolazioni di api selvatiche.

Arroganza coloniale

Gli abitanti di Mendha e gli Jenu Kuruba credono di far parte di una comunità di esseri che comprende anche le montagne, i fiumi, gli alberi, gli animali e gli uccelli. Questi membri non umani della comunità portano molti benefici, perciò gli esseri umani devono contraccambiare con un uso moderato e addirittura con la venerazione e la protezione totale. Questo sentimento doveva essere prevalente in tutte le culture primordiali, come quelle dei cacciatori-raccoglitori, che ne seguono ancora i dettami.

La necessità di proteggere la natura selvatica sarebbe diventata ancora più urgente quando gli esseri umani iniziarono a coltivare le piante, alterando così in modo radicale gli ecosistemi originali. L'agricoltura iniziò a essere praticata nell'India settentrionale circa 6000 anni fa. È molto probabile che all'inizio si disboscassero appezzamenti di foresta da coltivare, per poi abbandonarli dopo due o tre anni a favore di una zona nuova, in un processo chiamato coltura itinerante. L'indologo D.D. Kosambi ha ipotizzato che probabilmente sia sorta in quell'epoca la pratica di proteggere sempre dal disboscamento alcune parti specifiche della foresta, con i boschi sacri, e di non tagliare mai alberi di valore come i mahua. Il mantenimento dei boschi sacri fu poi integrato nelle pratiche sull'uso della terra anche quando le coltivazioni permanenti iniziarono a sostituire la coltura itinerante.

Assieme all'agricoltura stanziale sorsero le prime città-Stato. Circa 3500 anni fa la civiltà della valle dell'Indo lasciò il posto ai regni del periodo vedico. Secondo l'interpretazione del poema epico Mahabharata dell'antropologo Irawati Karve, quei primi Stati espansero le proprie frontiere oltre il bacino del Gange bruciando le foreste per sfrattarne i cacciatori-raccoglitori e creare altri campi da tassare e usare per i pascoli. Con l'espandersi della coltivazione nelle pianure si delineò una carenza di risorse, e infatti ci sono prove, anche se non distribuite uniformemente, che suggeriscono una diminuzione della fertilità del suolo e forse anche delle precipitazioni, mentre iniziavano a scarseggiare le foglie da concime, gli alberi da frutto, la cacciagione e altre risorse estratte dalle foreste. Gli studi della storica Romila Thapar indicano che sorsero in quel periodo, come risposta diretta alla crisi ecologica, il giainismo e il buddhismo, religioni che predicano il vegetarianesimo o altre forme di moderazione dei consumi, e che favorirono la tradizione locale dei boschi protetti. Lo stesso Gautama Buddha nacque nel bosco sacro di Lumbini circa 2600 anni fa. Anche l'islamismo sufi, che si diffuse nel subcontinente indiano nel X secolo, sosteneva queste pratiche di conservazione.

La conquista dell'India da parte della Compagnia delle Indie Orientali, che iniziò nel 1757, cancellò quasi completamente quei millenni di adattamento ecologico. I primi viaggiatori britannici descrivevano l'India come un mare di alberi, ma la compagnia procedette rapidamente alla privatizzazione dei beni collettivi. Campi, ruscelli, laghetti e altre risorse furono tolte agli abitanti dei villaggi locali, divennero proprietà dello Stato e in molti casi furono cedute a locatari modellati su quelli inglesi, che accettavano di pagare tasse esorbitanti estorcendole ai braccianti e ai mezzadri (ormai privati dei terreni). I locatari eliminarono la maggior parte dei boschi sacri dai loro terreni per espandere la superficie coltivata. In seguito lo Stato si appropriò praticamente di tutte le foreste con la pretesa di gestirle in maniera scientifica e illuminata, e il controllo comunitario e le misure di conservazione che lo accompagnavano furono dichiarati illegittimi.

La pratica della coltura itinerante, che predominava nella fascia forestale dell'India centrale dove si trovava anche Mendha, fu oggetto di critiche particolarmente feroci. Invano i locali provarono a sostenere che si trattava di una pratica non distruttiva, dato che le zone disboscate potevano poi rimboschirsi liberamente durante un periodo che poteva arrivare a 15 anni; inoltre, lasciavano sempre intatti tutti gli alberi di mahua, che consideravano sacri. Sotto il dominio britannico invece si radeva al suolo l'intera fo-

UN RIPARO PER LE SPECIE RARE

Foreste dell'Asia meridionale

I boschi sacri sono distribuiti un po' in tutta l'India, ma si trovano soprattutto nelle aree coperte da foreste, come i Ghati Occidentali, l'Himalaya e le zone collinari del nord-est e del centro del paese. Questi rifugi danno riparo a numerose specie di alberi, liane, piante medicinali, animali, uccelli, lucertole, serpenti, rane e altri esseri viventi che altrove sono diventati rari.

Mappa di Mapping Specialists

Dukku Chamaru Tofa, un anziano della tribù Gond, nell'India centrale, porta avanti antiche tradizioni di conservazione della natura che sono comuni tra i cacciatori-raccoglitori e coloro che praticano la coltura itinerante in tutto il mondo.

resta, compresi gli enormi e antichi alberi di mahua, per facilitare la raccolta del legname.

Nel 1860 le foreste indiane erano ormai quasi del tutto depauperate e nel tentativo di rallentare il ritmo della distruzione si nominò un ispettore generale delle foreste, il botanico tedesco Dietrich Brandis. (I britannici avevano poca esperienza di silvicoltura, dato che avevano consumato i boschi delle loro isole già da molto tempo.) Ammirando l'ottima gestione comune degli abitanti dei paesi indiani, Brandis lamentò la decimazione di quella che un tempo era stata un'estesa rete di boschi sacri e chiese che una parte sostanziale della foresta fosse lasciata in mano alla gente del posto. Anche se acconsentirono, ma a malincuore, i dominatori colonialisti non misero in pratica la decisione prima del 1930 circa e anche allora su scala molto limitata. Il dipartimento forestale continuò invece a crescere, fino a diventare il maggior proprietario terriero e a controllare più di un quinto del territorio del paese. I diritti delle comunità sulle foreste furono aboliti.

L'eliminazione dei loro antichi diritti significava che gli abitanti locali non potevano più impedire l'arrivo di estranei che sfruttavano in modo spietato le risorse dei loro beni collettivi. Le risorse erano passate da un regime di «controllo comunitario» a uno di «libero accesso». Elinor Osrom, che nel 2009 vinse il premio Nobel per l'economia per la sua attività di ricerca, dimostrò, con una notevole combinazione di studi teorici, sperimentali e sul campo, che il regime di libero accesso ai beni collettivi è soggetto ad abusi. L'uso controllato o la protezione completa delle risorse naturali che fanno parte dei beni collettivi è possibile solo in presenza di un saldo controllo da parte della comunità.

«Chi possiede questa foresta? Non il governo, e nemmeno qualcuno di noi. I veri proprietari sono coloro che non sono ancora nati. Noi ne siamo solo i custodi».

Dukku Chamaru Tofa

Gente di ecosistema

Nonostante l'imposizione di un regime di libero accesso, le comunità della fascia forestale centrale dell'India continuarono a gestire le proprie foreste fino all'indipendenza del 1947. Il Mahatma Gandhi, che guidò la lotta per l'indipendenza, aveva chiesto in continuazione di rispettare le comunità dei villaggi indiani e di dar loro potere, ma la sua visione fu respinta in toto dal governo dell'India indipendente, che invece consolidò ulteriormente l'ordine costituito per la gestione forestale. Di conseguenza, la perdita di potere delle comunità dei villaggi accelerò.

Nel febbraio 1972 ricevetti una richiesta di aiuto da parte degli abitanti di Gani, un villaggio nei Ghati Occidentali, che erano rimasti scioccati quando il dipartimento forestale aveva marcato alcuni alberi nel loro bosco sacro con l'intento di abbatterli. Raggiunto di corsa il villaggio, vidi che la loro foresta di 15 ettari era tutta primordiale: a memoria d'uomo neanche un albero vi era mai stato abbattuto. I suoi alberi antichi, carichi di rampicanti, svettavano fino a un'altezza di 40 metri, e il tronco dell'esemplare più maestoso, un ficus noto nella zona come *garud*, aveva una circonferenza di 15 metri. Tutta la regione circostante però era stata completamente deforestata, perciò il bosco sacro era l'unico luogo rimasto dove la gente potesse procurarsi legno secco o foglie con cui concimare le risaie, nonché l'unica fonte permanente di acqua al di fuori del pozzo del paese. Forte di queste informazioni andai a parlare con il funzionario forestale più alto in grado dello Stato, che accolse la richiesta perché veniva da me, ma sottolineò con disprezzo che quei boschi non erano altro che «cumuli di legno a uno stadio di maturazione troppo avanzato».

Per usare i termini coniati da Raymond Dasmann, uno dei fondatori dell'ambientalismo moderno, gli abitanti di Gani erano «gente di ecosistema» e il capo del dipartimento forestale apparteneva alla classe della «gente di biosfera». La gente di ecosistema dipende soprattutto dalla forza dei propri muscoli e da quella del proprio bestiame per raccogliere e lavorare gran parte delle risorse che consuma, che provengono da un'area di circa 50 chilometri quadrati attorno a casa sua. Poiché vive in così stretta prossimità con la base di risorse, la gente di ecosistema capisce e apprezza fino in fondo i doni della natura. La gente di biosfera, invece, ha am-

pio accesso ad altre fonti di energia, come i combustibili fossili, che le permettono di trasportare e trasformare grandi quantità di materiali di ogni provenienza per il proprio uso. La sua impronta ecologica è decine o centinaia di volte maggiore di quella della gente di ecosistema. La gente di biosfera vede le località rurali lontane come fonti di legname, minerali o energia idroelettrica, o al massimo come mete turistiche, e considera la gente di ecosistema come forza lavoro a basso costo o come un ostacolo all'accesso alle risorse che vuole o di cui ha bisogno. La gente di biosfera non ha riguardo per i servizi di ecosistema a cui i locali danno tanto valore.

Le classi dirigenti in India, e in tutto il mondo, sono composte da gente di biosfera e sostengono di gestire la società in vista del bene comune. La realtà è ben diversa, come ebbi modo di vedere durante i miei primi lavori sul campo nella Valle di Ambi, una vallata stretta e all'epoca remota dei Ghati Occidentali. Gli abitanti coltivavano riso sul fondovalle, praticavano la coltura itinerante sui versanti collinari e quando disboscavano tratti di foresta per coltivarli lasciavano intatte ampie macchie di alberi di mango e di mirabolano, che offrivano loro un reddito limitato ma regolare. Tuttavia, quando negli anni cinquanta iniziarono i lavori di costruzione di una diga, nella valle iniziarono a entrare veicoli a motore, portando l'economia di mercato a quei contadini che prima avevano visto ben poco denaro. I mercanti di carbone dissero loro che, poiché ben presto sarebbero comunque stati trasferiti, avrebbero anche potuto vendere gli alberi che crescevano sui versanti delle loro colline. Portarono con sé anche alcuni preti indù dalla vicina città di Pune, che assicurarono ai locali che avrebbero praticato le cerimonie necessarie per placare la divinità offesa e costruito un bel tempietto per ospitarla.

Enormi alberi di mango e di mirabolano, del valore di centinaia di rupie ciascuno, furono venduti anche per mezza rupia appena. Anche le riserve forestali sulla cima delle colline, controllate dallo Stato, furono distrutte dai mercanti di carbone in collusione con funzionari forestali corrotti. Alla fine gli abitanti locali sfrattati dalla diga non furono mai risarciti in modo adeguato. Per la maggior parte furono costretti a trasferirsi sui versanti collinari ormai completamente spogli, tirando avanti a fatica, mentre l'abbondante riserva idrica rappresentata dalla diga serve l'industria organizzata di Pune e i proprietari delle terre irrigate a est. Il costo di quel degrado ambientale, sul breve periodo, fu interamente caricato sulle spalle degli abitanti della Valle di Ambi. Sul lungo periodo, naturalmente, tutta la società ci rimette.

Man mano che i boschi sacri sparivano la gente iniziò a capire che avevano offerto servizi di valore per l'ecosistema

Per me quelle esperienze rafforzarono l'ipotesi che sei millenni dopo la nascita dei boschi sacri nel Subcontinente indiano le credenze spirituali non bastassero più ad assicurarne la sopravvivenza contro l'assalto continuo degli interessi commerciali. Dopo l'indipendenza, l'India aveva sfrattato decine di milioni di persone dalle foreste e dai campi per fare spazio a miniere, dighe e altri progetti di sviluppo. Perché i boschi sacri sopravvivessero, ipotizzai che la gente di ecosistema dovesse conservare l'accesso ai servizi ecologici che offrivano. Se l'egemonia della gente di biosfera avesse eliminato la possibilità di godere di quei benefici, gli abitanti dei villaggi non avrebbero più avuto grandi ragioni per proteggere i boschi, che quindi sarebbero stati eliminati.

Insieme all'antropologo B. Mohan Reddy e a Natabar Shyam Hemam, entrambi all'epoca all'Istituto indiano di statistica, negli anni novanta misi alla prova quell'ipotesi negli stati del Manipur e del Mizoram, sulle colline ai piedi dell'Himalaya orientale. Gli anziani ci raccontarono che in passato fino al 30 per cento del territorio e delle risorse idriche era totalmente protetto nei luoghi sacri. Certe risorse di valore, come l'Aquilaria con il suo legno profumato o il bambù, venivano raccolte con enorme attenzione. Ma quando i britannici presero il controllo della regione all'inizio del XX secolo assegnarono la proprietà di tutto il territorio a vari capi tribù, riducendo il resto della popolazione allo stato di mezzadri. E molti di quei capi tribù furono costretti a liquidare le foreste per guadagnare velocemente un po' di soldi.

Le donne di Mendha, tra cui Jaiyawanta Dayaram Duga (1), Jaiyawanta Dewaji Kadap (2), Sangita Vasant Atala (3) e Bhagrita Kisan Halmi (4), hanno avuto un ruolo di rilievo nelle proteste contro una cava di pietra che danneggiava la foresta e minacciava un luogo sacro, il Jaitur Pen. Oggi la cava è gestita da una cooperativa femminile che porta il nome di Danteshwari, la dea suprema del pantheon della comunità.

Boschi secolari

Danni ancora maggiori furono fatti negli anni cinquanta, quando i missionari convertirono alla cristianità l'intera società tribale di molti Stati del nord-est, e la loro ostilità alle credenze «pagane» condusse alla distruzione dell'ampia rete di boschi e laghetti sacri. (I laghetti sacri sono specchi d'acqua, spesso all'interno dei boschi sacri, in prossimità dei quali è permessa un'unica attività umana: l'approvvigionamento di acqua da bere, che qui in genere è pura e priva di germi.) È significativo notare che il piccolo Stato buddhista del Bhutan, incastonato tra gli Stati del nord-est dell'India, non ha mai subito il dominio coloniale né l'influenza missionaria e ospita ancora una rete di boschi sacri che si stima copra il 20 per cento della sua superficie.

Man mano che i boschi sacri sparivano, però, la gente iniziò a capire che avevano offerto una serie di servizi di valore per l'ecosistema, in particolare contro il fuoco. Gli incendi appiccati per disboscare appezzamenti da usare per la coltura itinerante si fermavano quando raggiungevano quei tratti densi e umidi di foresta pluviale. Di conseguenza, pochi anni dopo la scomparsa dei boschi sacri diversi villaggi ripristinarono la protezione per determinati tratti di foresta

Questi rifugi non sono più considerati la dimora di qualche essere spirituale, ma il sistema comunitario di controllo e protezione è identico a quello dei tempi andati e i tratti protetti si chiamano ancora *gamkhap* (in lingua gangte), come i boschi sacri del passato. Questi risultati hanno rafforzato la mia convinzione che anche se le credenze spirituali lasciano il passo a quelle secolari, i boschi sacri possono sopravvivere, purché i servizi dell'ecosistema raggiungano la gente di ecosistema.

Diritti sulle foreste

Per gli abitanti della zona boschiva centrale dell'India, le cose iniziarono a cambiare negli anni ottanta, quando emerse un'energica campagna per affermare i diritti delle comunità locali sulle foreste. Gli abitanti di Mendha ebbero un ruolo fondamentale nell'iniziativa. Il primo successo, piccolo ma significativo, arrivò nel 1991, quando una cooperativa di donne ottenne i diritti di gestione di una cava di pietra che minacciava un luogo sacro. Il mo-

vimento continuò a diffondersi e a rafforzarsi fino a culminare nel 2006 nell'approvazione di una legge, il Forest Right Act, che assegnava non solo diritti individuali ma anche, cosa più importante, diritti collettivi su determinate zone. Questi diritti includevano quello di proteggere, rigenerare o conservare e gestire le risorse locali, come il bambù.

Nel 2009 Mendha e la vicina Marda divennero i primi villaggi in India a ottenere diritti collettivi sulla loro foresta. Io ebbi la fortuna di assistere alla discussione sulle regole per un uso sostenibile delle risorse. La prefazione al loro piano di gestione include una citazione di un anziano, Dukku Chamaru Tofa, che riassume un sentimento alla base della sostenibilità: «Chi possiede questa foresta? Non il governo, non il villaggio e nemmeno qualcuno di noi. I veri proprietari sono coloro che non sono ancora nati. Noi ne siamo solo i custodi, a cui è affidato il privilegio di prendere solo ciò di cui abbiamo bisogno, lasciando intatta l'eredità per le generazioni future». Gli abitanti del villaggio decisero anche di identificare zone da trasformare in nuovi boschi sacri, chiamati *pen geda* (in lingua gondi), includendo però anche l'idea scientifica in base alla quale devono coprire la gamma completa di habitat e specie.

La burocrazia forestale è restia a cedere il controllo, ma 3600 villaggi nello Stato del Maharashtra hanno già ottenuto diritti collettivi sulle foreste dei dintorni. Altrettanto positivo è che nel distretto di Gadchiroli, dove si trova Mendha, siano stati avviati i lavori per creare una *Mahasangh*, una federazione di consigli di villaggio, che promette di essere un esperimento interessante sugli sforzi collaborativi per la protezione di risorse naturali su larga scala. A un incontro dei rappresentanti di circa 200 consigli, nel febbraio scorso, è stato deciso di creare nuovi boschi sacri che copriranno circa il 10 per cento della superficie forestale comunitaria.

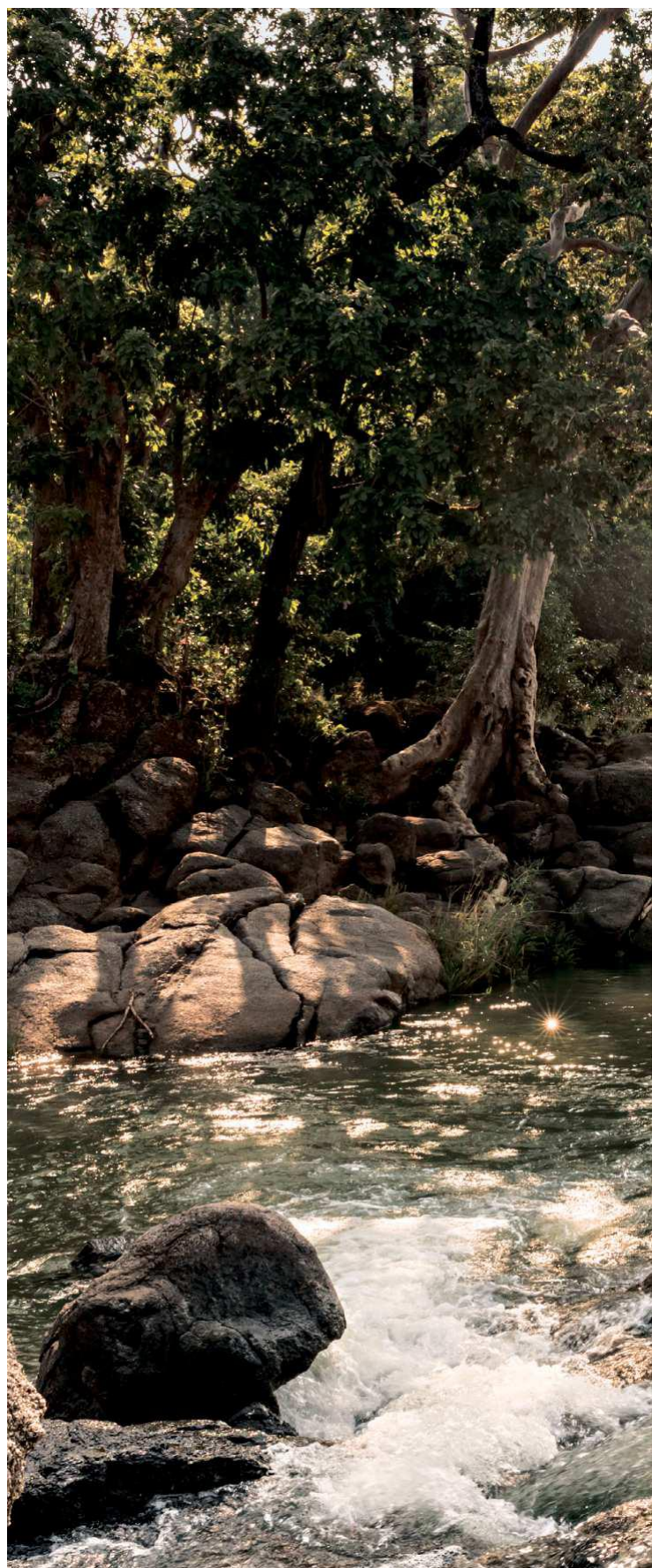
È quindi sempre più forte il sostegno alla mia convinzione che i boschi sacri saranno preservati, ricostruiti o addirittura creati ex novo. Perché ciò si realizzi è necessario dare alla gente di ecosistema il potere di lottare contro i forti interessi economici e politici che vogliono appropriarsi del legname, dei minerali, della terra e dell'acqua per il consumo della gente di biosfera. In tutto il mondo, movimenti popolari di questo tipo stanno guadagnando terreno. Gli abitanti locali si stanno opponendo all'estrazione di sabbie bituminose in Canada, agli oleodotti negli Stati Uniti, alle dighe in Brasile, alle miniere in Nuova Guinea e alla sostituzione della foresta pluviale con le piantagioni di palma da olio in Indonesia. Questi difensori popolari dell'ambiente vengono soppressi con la forza, ma vincono anche battaglie importanti.

Nel 2014, dopo quella colazione a Mendha, i padroni di casa e io abbiamo passato la giornata a visitare i nuovi boschi sacri. Alcuni vantavano magnifiche macchie di alberi di *arjun* (*Terminalia arjuna*) e di *bondara* (*Lagerstroemia microcarpa*). Altri erano stati scelti per offrire un habitat sicuro all'orso labiato, altri ancora per rappresentare le alture rocciose e altri habitat. Era il finale perfetto per la mia storia d'amore con i boschi sacri dell'India iniziata quasi mezzo secolo prima. ■

PER APPROFONDIRE

This Fissured Land: An Ecological History of India. Gadgil, M., e Guha, R., Oxford University Press, 1992.

Ecology and Equity: The Use and Abuse of Nature in Contemporary India. Gadgil, M., e Guha, R., Routledge, 1995.

The Unquiet Woods: Ecological Change and Peasant Resistance, in the Himalaya. University of California Press, 2000.

Stagno sacro sul fiume Kathani nei pressi di Mendha. Tipicamente gli specchi d'acqua come questo sono protetti con la proibizione di qualsiasi attività umana nelle loro vicinanze, a parte l'approvvigionamento di acqua da bere.

21 dicembre 2018 — I

Lo sfasamento tra il mezzogiorno solare e quello dell'orologio dura tutto l'anno, ma l'arrivo dell'ora legale in estate E esagera la differenza a confronto con l'inverno I

Alaska

New York

21 giugno 2019 — E

Cina

Bogotá

Lungo ciascuna linea longitudinale (*verticale*), il mezzogiorno solare si verifica allo stesso orario UTC (tempo coordinato universale). Ma l'ora locale potrebbe essere diversa lungo una stessa linea, a causa dei fusi orari. Il 21 giugno, per esempio, a Bogotá il Sole raggiungerà la sua posizione più alta due minuti prima delle 12:00, ovvero due minuti prima delle 13:00 a New York.

Alaska e Cina hanno alcune delle più grandi differenze tra mezzogiorno solare e dell'orologio. Il 21 giugno a Nome, in Alaska, il Sole raggiungerà il suo punto più alto alle 15:03. E sebbene la Cina includa cinque fusi orari, ne segue uno solo, il China Standard Time (UTC+8). Questo rende il mezzogiorno solare più vicino a quello effettivo per le città orientali; più si va ovest, più tardi arriverà il mezzogiorno solare, fino alle 15:05 in quella data.

Un esagono indica un dato del campione, che per molte isole piccole è assente.

Ora locale quando il Sole è al suo punto più alto

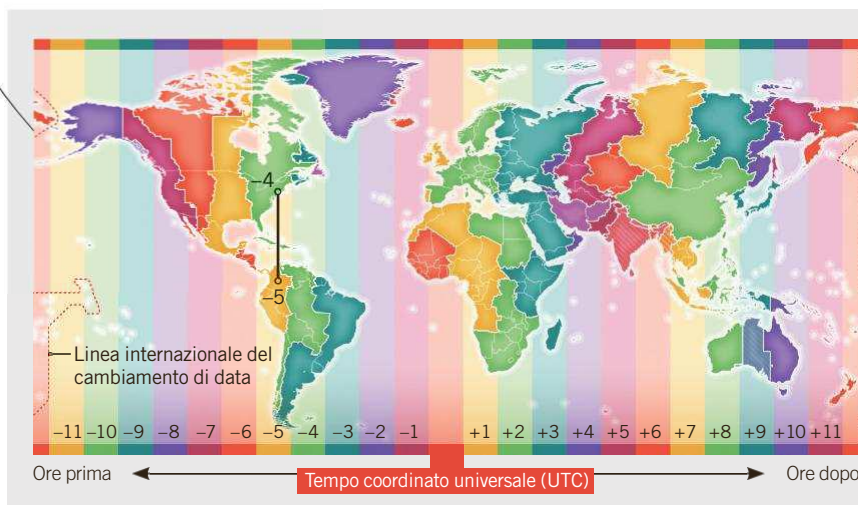
21 giugno 2019 (solstizio d'estate)

10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00

Non è mezzogiorno

Quello solare e quello segnato dall'orologio non sempre coincidono

Secoli fa le città designavano le 12.00 come il momento in cui il Sole raggiunge il suo punto più alto sull'orizzonte. Ma alla fine dell'Ottocento era diventato scomodo usare orari leggermente diversi per città vicine. Le nazioni hanno quindi adottato i fusi, in modo che regioni estese sarebbero state sincronizzate (*mappa multicolori*). Questa soluzione però ha creato sfasamenti tra il mezzogiorno solare e quello dell'orologio. La mappa in alto rivela quanto tempo dopo (*rosso*) o prima (*blu*) arriva il mezzogiorno solare rispetto a quello dell'orologio nel giorno del solstizio d'estate.

Nadieh Bremer

Misurarsi con i fusi orari

Una regione ha lo sfasamento più piccolo tra mezzogiorno solare e le 12:00 dell'orologio se segue il fuso UTC in cui ricade. L'Australia occidentale, per esempio, si allinea quasi perfettamente con UTC+8. In quella situazione, il mezzogiorno solare si verifica alle 12:00 nel fuso UTC. Tende a essere in anticipo (*blu nella mappa in alto*) nella regione orientale e in ritardo in quella occidentale (*rosso*). Per ragioni diverse, però, molti paesi sono in anticipo rispetto a questo fuso orario naturale. Chi per avere luce solare più tardi d'estate, chi per avere lo stesso orario di un vicino importante.

Nelle regioni tratteggiate, l'UTC osservato non è in ore piene (per esempio, l'India è UTC+5:30)

Fonte: OpenStreetMap (*dati fusi orari*); grafica di Nadieh Bremer

di Paolo Attivissimo

giornalista informatico e studioso
della disinformazione nei media

Aria viziata planetaria

L'anidride carbonica non influisce solo sul clima
ma può alterare anche l'umore e le capacità mentali

Nel dibattito sempre più acceso sui cambiamenti climatici c'è un punto fermo su cui tutti concordano: l'anidride carbonica (CO_2) contribuisce all'effetto serra. È un fatto chimico basilare, noto dai tempi di Arrhenius alla fine dell'Ottocento.

Tuttavia, l'attenzione all'effetto serra ha messo in secondo piano un altro fenomeno prodotto da questo gas: oltre a modificare il clima, altera anche umore e capacità cognitive. Numerosi studi recenti hanno evidenziato cali del 15 per cento delle prestazioni mentali già a 1000 parti per milione (ppm) e del 50 per cento a 1400 ppm, mentre in passato si riteneva che questi effetti si manifestassero solo a livelli ben più alti. A titolo di confronto, oggi la CO_2 atmosferica è intorno a 400 ppm ed è in aumento.

Sonnolenti e irritabili

Queste scoperte pongono un problema di salute pubblica, perché i livelli indicati come preoccupanti dalle ricerche sono facilmente raggiunti negli edifici moderni, sempre più sigillati e condizionati, nei quali il ricambio d'aria è ridotto al minimo per ridurre i costi. Un'aula piena di studenti che respirano e quindi esalano anidride carbonica può facilmente raggiungere concentrazioni che appannano le capacità mentali e producono sbalzi d'umore, letargia e sonnolenza senza che si identifichi correttamente la causa di questo progressivo declino, mascherata facilmente da altri fattori concomitanti.

Se una riduzione delle capacità cognitive o decisionali può impensierire chi studia, ci sono categorie ben più a rischio che lavorano o addirittura vivono in ambienti ermetici in cui il ristagno di anidride carbonica è assai frequente: nessuno vuole che un pilota di un aereo di linea o un comandante di un sottomarino nucleare prenda decisioni avventate sotto l'effetto dell'aria viziata in cabina. Ne sanno qualcosa gli astronauti a bordo della Stazione spaziale internazionale, che lamentano spesso mal di testa e variazioni repentine d'umore a causa dei livelli elevati di CO_2 nell'atmosfera locale. Scott Kelly, rimasto a bordo ben 11 mesi di fila, ha raccontato che la sua compagna, sulla Terra, capiva quando sulla stazione l'anidride carbonica era più alta del normale dal tono di voce più irritato dell'astronauta.

Senza arrivare a questi livelli di responsabilità, anche gli abitacoli delle nostre automobili possono avere facilmente un ricambio d'aria insufficiente che riduce la capacità di reazione e di gestione delle emergenze.

Per fortuna è abbastanza facile per ciascuno di noi quantificare il fenomeno localmente e quindi agire per evitarlo: un piccolo misuratore elettronico domestico di anidride carbonica costa qualche decina di euro, può essere alimentato a batterie e portato in auto, in aula o in ufficio, e si adopera senza particolari difficoltà, come un termometro digitale. Averne uno in vista è un promemoria molto efficace, che rende concreto un parametro di qualità dell'aria spesso trascurato.

Un futuro da istupiditi

Una comprensione diffusa di questo fenomeno è importante, perché via via che aumenta la concentrazione atmosferica di CO_2, diventa più facile e frequente che negli ambienti chiusi si superino i livelli che portano a ridotte capacità cognitive e decisionali. L'attuale valore di 400 ppm è il 24 per cento in più rispetto al 1960; le previsioni indicano 700 ppm entro fine secolo se conteniamo le emissioni che alterano il clima; se non lo facciamo, arriveremo a 1500, e a quel punto saremo immersi senza scampo nell'aria viziata planetaria.

Consoliamoci: saremo cotti dall'aumento delle temperature, ma tanto saremo troppo irascibili e istupiditi per preoccuparcene. La scelta va quindi fatta adesso, intanto che siamo ancora in grado, se vogliamo, di ragionare.

di Beatrice Mautino

biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti *Il trucco c'è e si vede* (Chiarelettere, 2018)

Far chiarezza sui siliconi

Malgrado il loro impatto ambientale, la loro assenza in un cosmetico non giustifica prezzi più elevati

Per chi fa il mio mestiere, le controversie sono all'ordine del giorno, come lo sono le reazioni scomposte provocate da certi argomenti. Dai vaccini agli OGM, i temi che dividono l'opinione pubblica e dei quali è ormai quasi impossibile discutere serenamente senza arrivare agli insulti sono purtroppo molti. Parliamo di questioni serie, che riguardano la salute delle persone, che toccano corde delicate, che mettono in discussione i propri valori o la propria visione del mondo. Capirete quindi il mio stupore di fronte alla scoperta che anche il mondo dei cosmetici, considerato generalmente frivolo e leggero, non si fa mancare le sue faide, che si svolgono con una veemenza paragonabile a quella delle cugine più famose e che ho sperimentato sulla mia pelle quella volta che ho deciso, incautamente, di parlare di siliconi.

Tendenzialmente inerti

I siliconi sono l'olio di palma dei cosmetici. Si attribuiscono loro tutte le nefandezze possibili e immaginabili. C'è chi li ritiene responsabili del soffocamento della pelle, chi li accusa di dilatare i pori, chi di far venire brufoli, chi ancora di impedire l'assorbimento degli altri ingredienti. «La scienza dice che sono sicuri», ha commentato una produttrice di cosmetici «senza siliconi», «ma lo dicevano anche dell'amianto e invece...». Capite che quando si arriva alla *reductio ad amiantum* le cose si fanno davvero serie. E pensare che i siliconi sono molecole tendenzialmente inerti. Sono inodori, insapori, spesso sono volatili, non reagiscono chimicamente con nessun recettore presente sulla pelle e hanno, per contro, proprietà interessanti per i cosmetici. Ma andiamo con ordine.

Quando parliamo di siliconi ci riferiamo a una famiglia di centinaia di migliaia di polimeri diversi accomunati da una struttura di base inorganica rappresentata da una catena di atomi di silicio e ossigeno, che si differenzia poi per lunghezza, conformazione che può essere lineare o ciclica, e gruppi chimici accessori a dar origine ai diversi tipi di siliconi.

I siliconi non esistono in natura, sono stati sintetizzati e battezzati agli inizi del secolo scorso dal chimico inglese Frederic Stanley Kipping e da allora sono usatissimi in molti settori industriali differenti, dalle gomme ai sigillanti fino ad arrivare al settore alimentare, farmaceutico e medico.

In campo cosmetico, i siliconi hanno alcune funzioni precise: aggiunti a shampoo e balsami riducono la carica elettrostatica dei capelli e agiscono da condizionanti, rivestendo le cuticole e proteggendo il capello, mentre nei prodotti per la cura e la decorazione del corpo, come le creme e i trucchi, il loro ruolo è quello che potremmo riassumere con «effetto pelle di pesca». Il risultato è che sono molto usati. Sono purtroppo anche abbastanza impattanti a livello ambientale, tant'è che, storicamente, i disciplinari delle certificazioni che afferiscono al mondo «ecobio» ne vietano l'utilizzo e la stessa Unione Europea nel gennaio 2018 ha ristretto l'uso di due tipi di siliconi, l'Octamethylcyclotetrasiloxane e il Decamethylcyclopentasiloxane nei prodotti da risciacquo con un regolamento che entrerà in vigore nel febbraio 2020.

Il marketing del «senza»

Ma proprio come per l'olio di palma, l'argomento ambientale da solo non basta per far presa sull'opinione pubblica e giustificare magari un prezzo maggiore dei prodotti che scelgono di usare ingredienti alternativi.

Quindi, più o meno coscientemente, più o meno volontariamente, molte delle aziende che operano nel settore cercano appiglio nel cosiddetto «marketing del senza», quello che fa leva sulla paura dei consumatori per i danni alla salute legati all'uso di determinate sostanze, non capendo che quelle paure contribuiscono a creare e alimentarle.

di Dario Bressanini

chimico, divulgatore, gastronomo. Autore di *Contro natura* (Rizzoli, 2015), *La Scienza della Carne* (Gribaudo, 2016)

Una spugna in padella

Cospargere le melanzane di sale prima della cottura serve a cambiare la struttura della loro polpa

La melanzana (*Solanum melongena*) è una pianta di origine tropicale domesticata più di 2000 anni fa in Cina e in India. Pur se originaria dell'Asia, è stata adottata con entusiasmo dai paesi del bacino mediterraneo, dove è protagonista indiscussa di varie ricette tradizionali come la parmigiana di melanzane, la pasta alla Norma, il *baba ganoush* e la *moussaka*.

Il vero effetto

Prima dell'uso in cucina, tradizionalmente le melanzane vengono cosparse di sale per qualche decina di minuti e poi sciacquate. Si dice che questo passaggio serva per togliere l'amaro dalla polpa, tuttavia le sostanze amare presenti nelle melanzane, come gli alcaloidi e i composti fenolici, non possono essere eliminate dal sale.

E se è vero che le melanzane selvatiche sono molto amare, la domesticazione e il miglioramento genetico hanno portato alle melanzane moderne assai poco amare. D'altra parte questa pratica è di fatto sconosciuta nelle ricette tradizionali asiatiche, dove invece vengono a volte solo sbollentate.

Jennifer Walker ha verificato l'effetto della salatura in uno studio presentato a Oxford, a un convegno dedicato ai miti e alle leggende in cucina. Ha preparato varie ricette di melanzane: fritte, moussaka, *ratatouille* e *curry* di patate e melanzane, ognuna in tre modi diversi, usando le melanzane tal quali oppure sbollentate o ancora salate, lavate e asciugate. In nessun caso nei piatti finali si è sentito il sapore amaro, neppure per le melanzane che non avevano subito alcun trattamento. In tutti i casi, invece, consistenza e sapore delle ricette con melanzane salate sono risultati superiori a quelli in cui le melanzane sono state sbollentate. Inoltre, nella ricetta delle melanzane fritte, quelle non trattate hanno assorbito il triplo dell'olio delle melanzane salate o di quelle sbollentate.

Insomma, l'effetto del sale non è eliminare quelle poche sostanze amare presenti, ma al più di ingannare le nostre papille coprendone l'effetto.

Danneggiare le cellule

Lungi dall'essere inutile, però, il sale ha una funzione importante nel far cambiare la struttura della polpa prima della cottura. Se tentiamo di friggere una melanzana appena tagliata, questa si inzupperà di olio; facendola invece soffriggere in poco olio questo verrà del tutto assorbito come se fosse una spugna e non ne rimarrà più per lubrificare la padella, con il rischio di bruciare tutto.

Internamente, le melanzane hanno una struttura spugnosa costituita da tante piccole sacche d'aria tra le cellule: è per questo che galleggiano se buttate in acqua. Queste sacche sono le responsabili dell'assorbimento dell'olio se fritte senza alcun trattamento. Quindi per molte ricette è quasi sempre opportuno far collassare almeno parzialmente la struttura spugnosa, e questo si può fare in due modi: con una precottura o con la salatura.

Cospargendo le melanzane di sale oppure immergendole in acqua salata, un po' di acqua contenuta nelle cellule viene estratta per osmosi andando parzialmente a riempire le sacche d'aria che quindi non potranno più assorbire il condimento. Nella precottura veloce, invece, le fette o i cubi di melanzane vengono fatti bollire per due o tre minuti, ma anche un trattamento al microonde può essere efficace. Anche in questo caso le cellule vengono danneggiate facendo uscire l'acqua.

Un altro metodo è spennellare le fette con olio e metterle in forno ad alte temperature. L'olio aumenta la temperatura superficiale delle fette senza farle bruciare. Questa tecnica è adatta per esempio alla preparazione di una versione non fritta della parmigiana di melanzane, e ha anche il vantaggio di far evaporare l'acqua riducendo il volume delle fette.

Sacche assorbenti. Nella polpa delle melanzane, tra una cellula e l'altra, ci sono molte piccole sacche d'aria, responsabili dell'assorbimento di olio.

Zhekos/iStock

I Rudy che abitano la rubrica e quelli reali finalmente si incontrano, e dalla festa che ne segue non poteva che nascere un problema

Tre per due uguale tre

Due terzi di vaga preoccupazione, un terzo di spensieratezza. Riempire sino all'orlo di superiore disinteresse. Se si trattasse di un cocktail, questa potrebbe essere la ricetta dell'atmosfera di casa, ma il guaio è che non si tratta di un cocktail, e soprattutto che, per una volta, due terzi più un terzo potrebbe non dare come totale uno, ma due. O anche sei.

«Capo, sono preoccupata. E, a giudicare dal cipiglio che ti ritrovi, anche tu non hai l'aria proprio felice.»

«Beh, Treccia... forse parlare di preoccupazione è eccessivo. Però ammetto un po' di irrequietezza: non mi aspettavo certi ospiti, anche se non si può certo dire che quei tre non abbiano pieno diritto a partecipare alla festa di stasera. Non sembra anche a te?»

«Per la miseria, Rudy, qui non è una questione di diritti, è questione di universi paralleli! Ammetterai che non capita tutti i giorni di sentire qualcuno che bussa alla porta, aprire, e trovarsi di fronte i nostri tre alter ego del Mondo-di-Là. Tu che adori i problemi, non trovi che questa intersezione tra mondo reale e mondo letterario ne causi un bel po'?»

«Ah, non lo metto in dubbio. Ma fosse solo per i problemi, non potrei far altro che rallegrarmene... piuttosto, mi sento un po' in imbarazzo, come se fossi preso da una crisi di identità a corrente alternata. Insomma, io sono il Rudy reale oppure quello che abita la rubrica?»

«Tu hai almeno la consolazione di mantenere lo stesso nome... accentuerà forse la tua filosofica crisi di identità, ma quanto meno ti concede degli innegabili vantaggi pratici. Io non so più nemmeno a quale nome devo rispondere.»

Rudy estrae la pipa dalla tasca, e la esamina a lungo, come per accertarsi una volta per tutte della sua natura: pura radica o inchiostro colorato?

«Temo sia tutta una maledetta questione di sistemi di riferimento – dice alla fine, senza aver trovato una risposta alla sua domanda inespressa – io sono convintissimo di essere l'unico vero Rudy, quello che crea problemi sprofondato nella sua poltrona, e che poi vede il risultato delle sue meningi scritto e disegnato su "Le Scienze". Ma sono sicuro che anche quello di là, che chiacchiera con i suoi due compari, la pensi alla stessa maniera, quindi...»

«Usiamo il metodo scientifico, allora! Abbiamo sempre convenuto che i tre Rudi disegnati sono molto più belli dei tre Rudi in carne e ossa. Adesso confrontiamoci: non è evidente che quelli bruttini siamo noi?»

«Sì, ma non vuol dir niente... il giudizio estetico è dannatamente soggettivo. Ai loro occhi, noi potremmo sembrare delle star hollywoodiane...»

«Seeeh... se è così, i nostri alter ego sono deficienti. O almeno molto, molto miopi.»

«Tanto non se ne scappa, amica mia... persino Gaetanagnesi non è un discrimine sicuro. Guardala là, tranquilla e serenissima come la Repubblica veneziana: si potrebbe concludere che, vedendola e conoscendo lei, che non ha controparti nel mondo reale, noi dovremmo essere necessariamente le entità letterarie, ma...»

Illustrazione di Stefano Fabbri

«Ma che? Vedi di argomentare in fretta, che a me "entità letteraria" non l'ha mai detto nessuno, e devo decidere in fretta se lavare o meno l'insulto con il sangue.»

«...ma le relazioni tra universi paralleli non hanno certo il vincolo della biunivocità, men che mai quello della piena corrispondenza. So per certo che in entrambi gli universi i Rudi posseggono felidi neri, e questo basta e avanza a lasciare intatto il dubbio.»

«Certo è che un po' la invidio, quella micia. È davvero tranquilla, niente affatto spaventata da questa invasione. Noi tre umani sconvolti e terrorizzati dall'impossibile, e lei che invece...»

Dalla cucina arriva improvvisamente una fumosa zaffata di fritto, un rumore metallico di padelle sbattute, e la faccia sorridente di Doc.

di Rodolfo Clerico,
Piero Fabbri e
Francesca Ortenzio

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve ad aprile e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

IL PROBLEMA DI FEBBRAIO

Il mese scorso i nostri concionavano sui tagli ripetuti di una torta circolare effettuati tramite ripetute inscrizioni di *n*-agoni regolari. Una volta inscritto, per qualsiasi valore di *n*, nel cerchio iniziale l'*n*-agono regolare massimo, è facile calcolarne l'area dividendolo in *n* triangoli congruenti, e anche ricavare l'area totale dei settori circolari esterni al poligono. Questi sono le regioni che sono state chiamate «del primo tipo», e la loro area vale

$$r^2 \left(\pi - \frac{n}{2} \sin \frac{2\pi}{n}\right)$$

Inscrivendo un secondo cerchio nell'*n*-agono e inscrivendovi un nuovo *n*-agono regolare, il calcolo è ripetibile: e iterando il procedimento è possibile stabilire il limite della serie somma delle aree del primo tipo. Le aree «del secondo tipo" non serve calcolarle, perché la loro somma è data dalla differenza tra l'area del cerchio e l'area totale delle fette del primo tipo. Il rapporto tra l'area del cerchio e l'area delle fette del primo tipo risulta allora pari a

$$\frac{\pi - \frac{n}{2} \sin \frac{2\pi}{n}}{\pi \sin^2 \frac{\pi}{n}}$$

e di quest'espressione si deve trovare il limite per *n* tendente a infinito. Mediante l'utilizzo degli sviluppi in serie di Taylor o, più semplicemente, applicando il teorema di de l'Hospital, si trova che il limite cercato è pari a 2/3. Conviene quindi scegliere le fette del primo tipo.

«Oh, voi due! Si può sapere che state borbottando, con quelle facce da funerale?»

Rudy bisbiglia di sottecchi: «Hai veramente detto "noi tre umani sconvolti", un attimo fa? Sospetto che tu sia stata precipitosa...»

«Allora? – continua Doc – Venite piuttosto qua a darci una mano insomma, che noi quattro stiamo spadellando e spentolando da una vita, e oggi non è lecito imboscarsi! E di sicuro ci stiamo divertendo assai più di voi due...»

«Con quale Doc stiamo parlando, secondo te?», sospira Treccia.

«Non lo so. Non so neppure se sia importante...»

«Venite, insomma! – ribadisce un non meglio identificato Doc – «...che qui è cruciale essere in sei, sia per mangiare che per risolvere il problema che ho appena inventato!»

«Dubbio risolto, Rudy... io non so più chi sono, ma chiunque io sia, so per certo che lui è il Doc sbagliato.»

La cucina, benché affollata il doppio del solito, registra un imbarazzato silenzio per qualche istante, finché uno dei Doc annuncia trionfante: «Spiedini frattali matematicamente corretti!»

Silenzio. Al più, domande mute pronunciate solo dagli occhi.

«Insomma, il problema, no? E la cena, pure... allora, gli ingredienti di base degli spiedini sono due, a grandi linee: carne e verdura. Giusto?»

«Beh – osserva un Rudy – a voler essere pignoli si possono fare anche spiedini di pesc... ma no, no, non complichiamo ulteriormente la situazione. Carne e Verdura, C e V, mi sta benissimo.»

«Non volendo fare una cosa noiosa come la monotona, ripetuta alternanza di C e V, consideriamo tutti gli spiedini generabili di lunghezza *n*...»

«E fin qui, non mi pare difficile calcolare quanti siano...»

«...ma escludiamo quelli composti unicamente da subspiedini uguali...»

«Da che?»

«Subspiedini, no? Per fare un esempio, VCVCVC non puoi farlo, perché è formato da tre ripetizioni di VC.»

«...mentre VCVCCC potrei farlo, visto che oltre alla ripetizione di VC ha anche altre parti?»

«Certo.»

«E di che dimensioni intendi prepararli?»

«Tutte, a partire da tre: in questo caso di partenza, VVV e CCC sono vietate, ma VVC, VCV, VCC, CVV, CVC, CCV sono permesse: sono sei, quindi una a testa, tutti siamo contenti, beviamo una birra e passiamo alla taglia quattro, con...»

I due Rudy si lanciano una fugace e sincronica occhiata, poi, in coro: «Capito. Il numero degli spiedini cresce in modo interessante: si può presupporre che le due terne di Rudi abbiano appetiti simili (per la birra non vale la pena preoccuparsi: in qualsiasi universo, le scorte di birra di questa casa superano quelle del bar dell'albergo di Hilbert), insomma, dal punto di vista quantitativo, la cena sembra salva. Solo c'è da chiedersi se il numero degli spiedini sarà sempre divisibile per sei...»

«Miao?»

«Scordatelo, micia», dicono in coro le due Treccia: «Sappiamo tutti benissimo che se ti lasciamo avvicinare ai vassoi, ci ritroveremmo in un baleno solo con una sfilza di spiedini del monotono tipo VVVVV... »

Siamo una superpotenza geologica

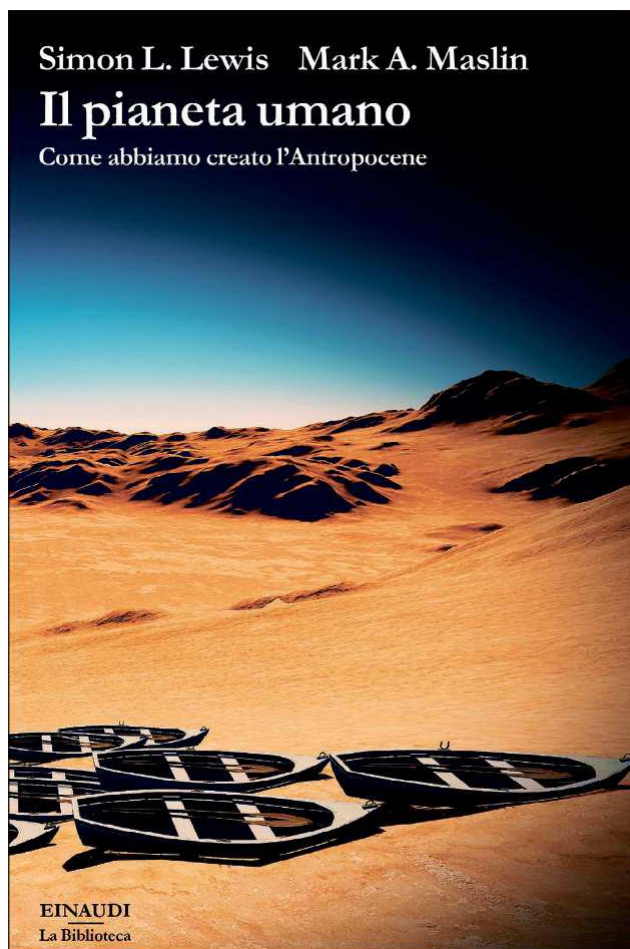
Nascita e sviluppo di una nuova era caratterizzata dal predominio umano

Il pianeta umano
di Simon L. Lewis e Mark A. Maslin
Einaudi, Torino, 2019, pp. 384 (euro 32,00)

Il cemento prodotto dall'umanità basterebbe a ricoprire il globo terrestre con uno strato di due millimetri. Le attività umane smuovono ogni anno più suolo, rocce e sedimenti di tutti i processi naturali messi insieme. La plastica, in fibre microscopiche, ha raggiunto pressoché tutta l'acqua che beviamo.

In tema di impatti umani sull'ambiente gli esempi eclatanti non mancano, ma quelli scelti da Lewis e Maslin fanno comunque impressione. E danno idea di che cosa sia l'Antropocene, il nuovo periodo geologico in cui saremmo entrati, caratterizzato dal predominio umano: *Homo dominus* è ormai «una superpotenza geologica», la cui opera sta mettendo fine ai 10.000 anni di stabilità ambientale in cui sono prosperate le civiltà. Lewis e Maslin, rispettivamente geografo e geologo allo University College London, si occupano da tempo dell'Antropocene e qui lo esaminano a tutto tondo e riflettono su come evitare che ci porti alla catastrofe.

Circa l'inizio della nuova era, nell'attesa che i geologi si pronuncino ufficialmente, ognuno dice la sua. C'è chi lo colloca agli albori della rivoluzione industriale, e chi negli anni cinquanta, con la forte accelerazione economica accompagnata dalle esplosioni atomiche che hanno lasciato una traccia geologica in tutto il pianeta. I due autori si spingono ancora prima: nel 1610, quando l'anidride carbonica atmosferica (rilevata nei ghiacci antartici) ha toccato un minimo, a causa – si ipotizza – della ricrescita delle foreste americane nei campi abbandonati dopo il crollo delle civiltà precolombiane. È una proposta che ha un suo perché sia scientifico sia storico-politico, dato che abbina un segno ambientale a un evento storico cruciale: il contatto fra Vecchio e Nuovo Mondo che ha segnato la nascita del mondo moderno, unificando ecologia ed economia del pianeta. Ecosistemi prima separati hanno iniziato a scambiarsi piante, animali, patogeni, e l'economia coloniale ha avviato un traffico globale di merci e persone, portando la Terra su una nuova traiettoria evolutiva. «Questa nuova epoca geologica si basa sullo schiavismo e sul colonialismo».

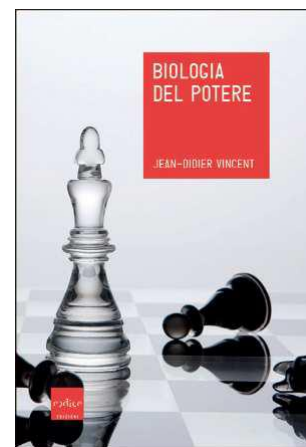
Come evitare che questa nuova traiettoria sfoci in un disastro? Rileggendo la storia, gli autori individuano cinque modelli di società che si sono diffuse in tutto il mondo: caccia e raccolta, agricoltura, capitalismo mercantile, capitalismo industriale e capitalismo consumistico. Ogni volta con un aumento dei consumi di energia, dei flussi di informazione, della popolazione e del suo impatto. È un ciclo di crescita che va spezzato, con l'aiuto, tra l'altro, di due misure fondamentali: il reddito di base universale, che svincolerebbe il lavoro dai consumi, e l'idea di riservare metà della superficie terrestre a beneficio primario di altre specie (una proposta che sarebbe meno utopistica di quanto appaia, considerando la crescente urbanizzazione). I due autori esaminano difficoltà e benefici di queste proposte, con una nota di ottimismo. In fondo siamo l'unica specie che, trovatasi in estrema abbondanza di risorse, è sfuggita al ciclo di crescita esponenziale spezzata infine dal crollo improvviso: la natalità è in calo, e la popolazione in via di stabilizzazione, grazie soprattutto all'emancipazione femminile.

L'Antropocene è un'idea nascente su cui ferve il dibattito e le opinioni sono fluide, a partire dalla validità del concetto. Anche alcune tesi del libro sono controverse. Sul calo di anidride carbonica di cinque secoli fa ci sono interpretazioni diverse, e anche altre affermazioni possono lasciare dubbi, come l'idea che un calo del testosterone avrebbe reso *Homo sapiens* più cooperativo avvantaggiandolo sui neanderthaliani. Ciò detto, fra i tanti saggi sull'Antropocene, questo è denso di informazioni e di idee stimolanti espresse da esperti di primo piano in modo molto leggibile.

Giovanni Sabato

Le gerarchie sono nel cervello

Le origini del potere dal punto di vista delle neuroscienze

Non è una novità il fatto che anche settori di studio come la sociologia e l'antropologia culturale sentano oggi il bisogno di confrontarsi con i dati raccolti dalle discipline scientifiche. E sembra di poter rilevare come tutti gli ambiti del sapere abbiano solo da guadagnare da questa osmosi e dal confronto che ne deriva.
È da una spinta simile che hanno preso avvio le ricerche sulle origini evolutive del comportamento umano, alle quali oggi contribuiscono in modo importante i dati che provengono dagli studi di neuroimmagine.
Con questo saggio, il neurobiologo e neuropsichiatra Jean-Didier Vincent si pone l'obiettivo di indagare l'origine delle dinamiche di potere all'interno della nostra specie, che mostra una predisposizione estrema alla socialità. Per farlo, si deve partire dagli studi sulle altre specie animali, relativi a comportamenti e fenomeni come dominanza, leadership, piacere, empatia e molti altri. Un'operazione non semplice né esente da rischi: trovare un giusto equilibrio tra la ricerca delle radici evolutive di un comportamento e le deformazioni che derivano dalla nostra naturale tendenza ad antropomorfizzare il comportamento degli altri animali non è banale e Vincent non manca di farlo notare. Negli ultimi anni un valido aiuto è venuto dagli studi sui neurotrasmettitori: l'autore si sofferma a illustrare il ruolo centrale di alcuni tra questi messaggeri neuronali nella creazione di gerarchie e dinamiche di potere, che si traducono nelle vicende storiche delle popolazioni umane.
Nella seconda parte del saggio il discorso si focalizza sugli aspetti antropologici e indaga come il dato scientifico possa, a detta dell'autore, far luce sulle diverse manifestazioni del potere e della violenza nel corso della storia. Con il contributo di artisti, letterati e pensatori di tutte le epoche, l'autore spazia dalla storia più antica a quella più recente, dedicando una sezione anche alla società del potere digitale. Qua e là si avverte la mancanza di un collante, di uno sviluppo organico del discorso che aiuti a tirare le fila, portando a conclusione i passaggi logici.

Anna Rita Longo

Biologia del potere
di Jean-Didier Vincent
Codice Edizioni, Torino, 2019, pp. 220 (euro 20,00)

Una lezione sempre valida

La storia della scienza europea dal secondo dopoguerra

Una bussola preziosa per orientarsi nella crisi che sta vivendo l'Europa. A prima vista potrebbe apparire strano che un libro come questo – il quinto e ultimo di una serie dedicata alla storia della scienza in Europa – possa diventare uno strumento essenziale di lettura del presente e di ispirazione per affrontare il futuro.
La tesi forte sostenuta dal giornalista Pietro Greco è che le ragioni del declino attuale dell'Europa non vadano ricercate tanto nella demografia o nella politica, ma nel progressivo e inesorabile calo degli investimenti in ricerca scientifica e tecnologica degli ultimi decenni. Proprio quei finanziamenti che sono stati il volano di sviluppo per l'Europa prima, per gli Stati Uniti poi, e attualmente stanno tirando la volata alla Cina verso il dominio dell'economia globale.
Dalla fisica delle particelle alla medicina e alla salute globale, dalla nascita dell'informatica alla biologia molecolare fino alla chimica, il libro ricostruisce in modo accurato e con vivacità narrativa, la trama dello sviluppo della scienza dal secondo dopoguerra fino al primo decennio del XXI secolo, mantenendo sempre in evidenza la connessione con l'ordito della storia politica e sociale.
Alla fine del secondo conflitto mondiale fu la visione di Vannevar Bush col suo rapporto *Science: The Endless Frontier* a indicare la via del prodigioso sviluppo economico statunitense basato sugli investimenti in ricerca. Oggi che l'economia della conoscenza rappresenta almeno metà dell'intera economia globale, l'Europa arranca, nonostante gli obiettivi della strategia di Lisbona fissati nel 2000, rimasti finora disattesi.
In questo nuovo scenario però il nostro continente può tornare a contendere il primato a livello globale: la ricetta è fatta di alti investimenti in R&S, primato della ricerca di base, una casa comune europea per l'alta formazione, e un ruolo di primo piano alle donne. Obiettivi estremamente ambiziosi ma, consapevoli della storia che abbiamo alle nostre spalle, necessari da perseguire per generare un futuro di benessere ed equità per tutti, in una «società democratica della conoscenza.»

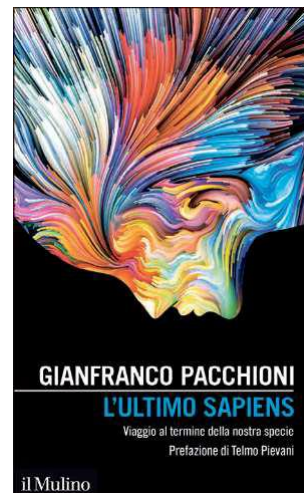
Marco Motta

La scienza e l'Europa
di Pietro Greco
L'Asino d'oro, Roma, 2019, pp. 310 (euro 20,00)

Diventeremo tecno-sapiens?

Un'estrapolazione futura delle sfide tecnologiche attuali

Realtà e finzione si incontrano e si intrecciano in questo divertente volume. L'attualità delle scienze fisiche, biologiche e dell'informazione viene esplorata seguendo la narrazione che ne fece un testimone d'eccezione, mezzo secolo fa: Primo Levi. Il paradosso temporale è spiegato dalla straordinaria lucidità dello scrittore torinese, che nei suoi racconti ha più volte «visto» il futuro estrapolando le linee di sviluppo del suo presente.
Ecco allora che l'autore di questo saggio sulla nostra specie può usare le trame e le parole di Levi come segnaposto sulla mappa dell'oggi, sottolineando soprattutto i possibili lati oscuri dell'innovazione tecnologica che produciamo. Così nel capitolo dedicato alla realtà virtuale, Gianfranco Pacchioni, prorettore alla ricerca dell'Università di Milano-Bicocca, riprende il racconto dedicato al Total Recorder che fa vivere emozioni «vere» all'utente: il protagonista entra in un tunnel di dipendenza, il cui esito è fatale. Allo stesso modo, il racconto *A fin di bene* prefigura una sorta di rete che diventa rapidamente un'intelligenza artificiale, capace di imparare ogni lingua e dialetto: la «rete» di Levi evolve autocoscienza ma, di fronte alle minacce degli umani che vogliono spegnerla, preferisce il suicidio, rendendosi inutilizzabile. A leggere le preoccupazioni di oggi, il suicidio della grande macchina intelligente di Levi sembra venato da eccessivo ottimismo antropocentrico. Filosofi e scienziati si domandano quando si arriverà alla vera intelligenza artificiale, capace di autosostenersi, autonoma dalla programmazione umana, e quali rischi implichi.
Sfide importanti, già adombrate da Levi senza gli elementi più immaginifici della fantascienza classica. Pacchioni ne usa i racconti perché aiutano a capire che cosa sta facendo la ricerca oggi per accompagnarci verso quello che sembra essere un cambiamento radicale e forse irrimediabile, dopo il quale non saremo più i *sapiens* di prima, ma qualcosa di nuovo: tecno-sapiens. Sempre che la nostra evoluzione non cozzi violentemente contro i limiti biofisici del pianeta, e ci costringa a ripensare tutto, anche la semplice sopravvivenza.

Mauro Capocci

L'ultimo sapiens
di Gianfranco Pacchioni
Il Mulino, Bologna, 2019,
pp. 214 (euro 15,00)

Propaganda politica 2.0

Impatto ed etica delle nuove tecnologie nella vita politica

Nel romanzo del 1964 *Simulacron 3*, l'autore Daniel Galouye immagina un'azienda, Reaction Inc., che per conto dei clienti prova continuamente l'efficacia delle campagne di marketing sul pubblico. E Simulacron 3 è il nome di un potentissimo e fantascientifico simulatore che permetterà di saggiare in piccolo le reazioni del pubblico prima di mettere in campo in grande le campagne pubblicitarie. Chissà se Giovanni Ziccardi, docente di informatica giuridica all'Università degli Studi di Milano, ha letto il romanzo di Galouye: di sicuro la sua analisi dell'uso che i politici fanno dei *social media* per saggiare i *like* dell'elettorato lo fa tornare alla mente.
Sono proprio alcune caratteristiche dei *social network* a rendere possibile questo uso. Innanzitutto, la disintermediazione: oggi i politici, con dirette Facebook e flussi continui di *tweet*, non hanno più bisogno dei giornali per diffondere i propri messaggi, anzi i giornali sono ridotti a megafoni passivi. *Big data* raccolti 24 ore su 24, disintermediazione e la possibilità di parlare un linguaggio diverso da quello della comunicazione vecchio stile ed ecco servito il Simulacron contemporaneo, perfetto strumento per la propaganda politica 2.0.
La trasformazione indotta nella comunicazione politica dalla tecnologia, però, non si ferma qui. Ma fa intravedere ombre che il dibattito pubblico affronta solo parzialmente. Innanzitutto, la proprietà e la privacy di questa enorme massa di informazioni che ci riguardano sono gestite da privati, che possono essere protagonisti di comportamenti non per forza virtuosi (Cambridge Analytica), e poi la potenziale ingerenza di forze interessate, come il supposto ruolo degli *hacker* russi nelle elezioni statunitensi, a manipolare il comportamento degli elettori. *Fake news*, ma non solo, che inducono Ziccardi a interrogarsi sul ruolo dell'etica nella diffusione di potenti tecnologie come i social network.
È un dibattito vecchio, ma ancora attuale. Anzi più attuale che mai, perché non si tratta più di capire come la politica deve gestire la tecnica, ma di come la seconda possa influenzare la prima.

Marco Boscolo

Tecnologie per il potere
di Giovanni Ziccardi
Raffaello Cortina, Milano, 2019,
pp. 256 (euro 16,00)

Fino al 22 aprile
MAST, via Speranza 42, Bologna
www.mast.org

Scienza e tecnologia mai viste

Una mostra fotografica svela luoghi delle ricerca in genere inaccessibili

La prima grande foto immortala l'interno del *tokamak* Asdex Upgrade 1 del Max-Planck-Institut für Plasmaphysik di Garching, una camera toroidale luccicante e vuota che a Thomas Struth ha fatto venire in mente un tempio antico: un luogo quasi spirituale, dove l'ingegno umano si confronta con il Sacro Graal di una fonte di energia virtualmente inesauribile e a basso costo. Si apre così la sua esposizione personale alla MAST Gallery: 25 fotografie di enormi dimensioni (la foto della piattaforma petrolifera sommergibile con la cornice pesa oltre 130 chilogrammi) che indagano il rapporto tra tecnologia e politica, e si chiedono se lo sviluppo della tecnologia sia la «premessa unica del progresso umano», parole dell'artista stesso.

Alcune foto esposte: albero bronchiale con struttura di supporto (*sopra*), cappa chimica all'Università di Edimburgo, moduli spaziali in dimensioni reali al Johnson Space Center di Houston.

Dal 2007 Struth ha viaggiato per mezzo mondo, chiedendo il permesso di fotografare luoghi solitamente inaccessibili, allo scopo di mostrare che cosa c'è dietro alla superficie della tecnologia e della ricerca. Ha così visitato le strutture di addestramento degli astronauti con la riproduzione in scala 1 a 1 della Stazione spaziale internazionale e l'interno delle sale operatorie, dove il corpo del paziente è interpretato dalla tecnologia e dalla medicina come un oggetto, e che Struth tratta come un elemento delle sue composizioni.

Forse la potenza massima della sua arte in questa particolare declinazione è raggiunta da un'immagine dello *space shuttle*. Siamo in un hangar, con lo shuttle sollevato da terra per permettere di riparare lo scudo termico sul fondo. Ci vuole qualche tempo perché ciò che vediamo venga riconosciuto per quello che è: di fronte a ciò che non conosciamo, siamo come degli archeologi davanti a un manufatto mai visto prima. Fotografato a Cape Canaveral nel 2008, tre anni prima della chiusura del programma, proprio quello shuttle è diventato un reperto archeologico e adesso è custodito da un museo.

Ancora più forte è l'impressione di uno strumento alieno di fronte a un dettaglio di uno *stellarator*, usato per confinare il plasma, indistinguibile all'occhio del profano da un fotogramma di un film di fantascienza. Ma lungi da avere un atteggiamento luddista, Struth è più interessato a mostrare potenza e influenza che le tecnologie esercitano sulla nostra esistenza. E ricorda anche a chi non le capisce che non può non occuparsene, perché sono determinanti per la storia dell'umanità.

Marco Boscolo

Prossimo numero

ad aprile

Venere, l'esopianeta della porta accanto

di M. Darby Dyar, Suzanne E. Smrekar e Stephen R. Kane

In origine Venere e la Terra erano piuttosto simili, ma a un certo punto la loro evoluzione ha preso strade diverse. Capire perché Venere sia divenuta l'inferno che è può chiarirci le idee sulla possibilità che i molti esopianeti simili ospitino o meno la vita.

Un'azione inquietante

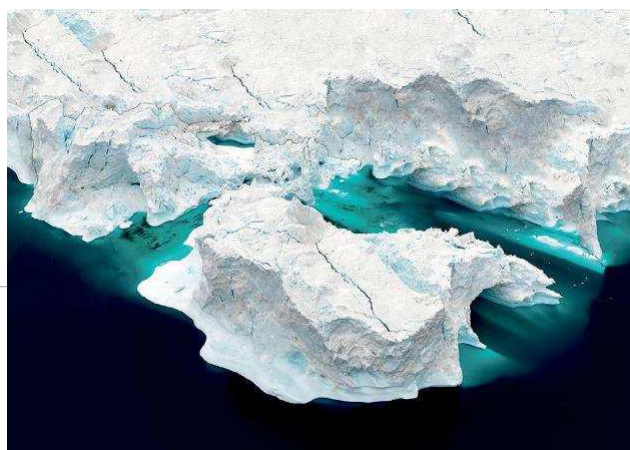
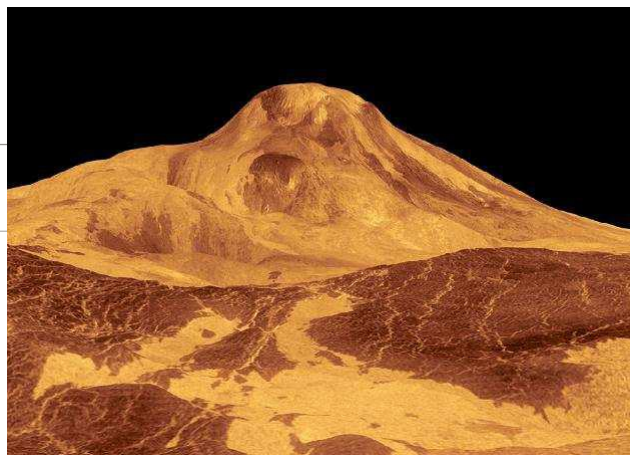
di Ronald Hanson e Krister Shalm

Recenti versioni di un test destinato a verificare la natura reale dell'entanglement quantistico annullano la speranza che sia possibile dare una spiegazione classica del bizzarro fenomeno che collega le proprietà di due particelle lontane tra loro, definito da Albert Einstein «inquietante azione a distanza».

L'Antartide sta collassando?

di Richard B. Alley

Il grande ghiacciaio Thwaites, nell'Antartide occidentale, ha cominciato a scorrere più rapidamente verso l'oceano. Se cominciasse a frantumarsi, potrebbe alzare il livello del mare addirittura di tre metri e mezzo in pochi decenni.

NASA/JPL/SPL/AGF (*Venere*); iStock (*Antartide*)

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 90, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Andrea Mattone (*grafico*), Cinzia Sgheri, Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione:
Andrea Lignani Marchesani
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Daria Orsi (tel. 02 57494475, 345 4415852)
e-mail dorsi@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano,
telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.

Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - febbraio 2019

ISSN 2499-0590

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief and Senior Vice President
Mariette DiChristina

President
Dean Sanderson

Executive Vice President
Michael Florek

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Francesca Bernardis: *Boschi sacri;* Silvia Baldi: *Migliorare l'accesso ai trial*; Silvio Ferraresi*: La mente e il pasto;* Eva Filoramo: *Città spugna;* Daniele Gewurz: *Il codice delle particelle;* Alfredo Tutino: *L'ago nel pagliaio.*

ABBONAMENTI E ARRETRATI
GEDI Distribuzione S.p.A.

Per informazioni sulla sottoscrizione di abbonamenti e sulla richiesta di arretrati telefonare al numero 0864.256266 o scrivere a abbonamenti@gedidistribuzione.it o arretrati@gedidistribuzione.it
Fax 02.26681986.

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00
Estero	
abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 8593 del 18/12/2018

le Scienze
edizione italiana di Scientific American